

**T.C.  
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MUM İNDİRME PROSESİNİN OTOKLAV KULLANILARAK DİZAYNI VE  
OPTİMİZASYONU**

**BATUHAN ASLAN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
ISI PROSES PROGRAMI**

**DANIŞMAN  
YRD. DOÇ. DR. NADER JAVANI**

**İSTANBUL, 2016**

T.C.  
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MUM İNDİRME PROSESİNİN OTOKLAV KULLANILARAK DİZAYNI VE  
OPTİMİZASYONU**

Batuhan ASLAN tarafından hazırlanan tez çalışması 09.11.2016 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Tez Danışmanı**

Yrd. Doç. Dr. Nader JAVANI

Yıldız Teknik Üniversitesi

**Eş Danışman**

Prof. Dr. Ali PINARBAŞI

Yıldız Teknik Üniversitesi

**Jüri Üyeleri**

Yrd. Doç. Dr. Nader JAVANI

Yıldız Teknik Üniversitesi

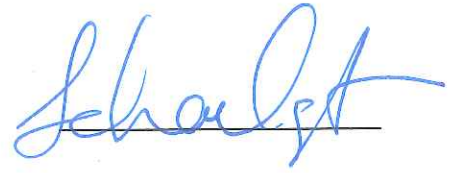
Doç. Dr. Zehra YUMURTACI

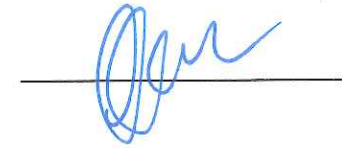
Yıldız Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Işıluy ULUSOY

Okan Üniversitesi







## ÖNSÖZ

---

Günümüzde enerji verimliliği ve çevre politikası ile ilgili çalışmalar bütün üretim alanlarında yoğun bir biçimde görülmektedir. Hassas dökümcülük alanında da enerjinin verimli kullanımı ve çevre kirliliğinin önlenmesi ile ilgili pek çok çalışma yapılmıştır ve halen yapılmaktadır. Bunların yanında, proses süresi, ürün kalitesi ve maliyet yönetimi gibi konular da bu çalışmaların içerisinde yer alan önemli hususlardır.

*“Mum İndirme Prosesinin Otoklav Kullanılarak Dizaynı ve Optimizasyonu”* adı altında gerçekleştirilen bu çalışmada, kayıp mum tekniğiyle dökümün proseslerinden biri olan alçıdan mum indirme esnasında karşılaşılan sıkıntıların giderilmesi amacıyla bir otoklav fırın modeli oluşturulmuş, fırın içi sıcaklık dağılımının belirlenmesinde nümerik analiz ve sonuçlara göre bir optimizasyon yapılmıştır. Daha sonra model değerlendirilmiş ve daha önceki çalışmalarla mukayese edilerek sonuçlar incelenmiştir.

Çalışmanın başlangıcından itibaren deneyimi ve bilgi birikimiyle değerli fikirlerini benimle paylaşan Sayın hocam Yrd. Doç. Dr. Nader JAVANI'ye ve lisans eğitimimden itibaren eğitim hayatımın içinde olmasından memnuniyet duyduğum, yüksek lisans çalışmam sırasında konusundaki hakimiyeti ile beni yönlendiren, değerli vaktini ve bilgisini esirgemeyen Sayın hocam Prof. Dr. Ali PINARBAŞI'ya teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca eğitim hayatım boyunca verdikleri emek ile bugünlere gelmemde katkısı olan, sevgili öğretmenlerime saygı ve şükranlarımı sunarım.

Son olarak; eğitim hayatım boyunca maddi ve manevi her zaman bana destek olan aileme en derin duygularıyla teşekkürlerimi sunar, çalışmamın yararlı olmasını dilerim.

Ekim, 2016

Batuhan ASLAN

## İÇİNDEKİLER

---

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ .....	viii
KISALTMA LİSTESİ .....	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	x
ÇİZELGE LİSTESİ .....	xiii
ÖZET.....	xiv
ABSTRACT .....	xvi
<b>BÖLÜM 1</b>	
GİRİŞ.....	1
1.1    Literatür Özeti .....	1
1.2    Tezin Amacı .....	2
1.3    Hipotez .....	3
<b>BÖLÜM 2</b>	
KAYIP MUM TEKNIĞİ.....	4
2.1    Kayıp Mum Tekniğinin Tarihsel Gelişimi .....	5
2.1.1    Modern Kayıp Mum Tekniğine Geçiş.....	7
2.2    Kayıp Mum Tekniğinin Endüstriyel Kullanım Alanları .....	8
2.3    Kayıp Mum Tekniğinin Avantajları .....	9
2.4    Kayıp Mum Tekniğinin Sınırlamaları .....	10
2.5    Kayıp Mum Tekniğinde Toleranslar .....	10
2.6    Kayıp Mum Tekniğinin Diğer Yöntemlerle Karşılaştırılması.....	10
2.7    Kayıp Mum Tekniğinde Döküm Yöntemleri .....	12
2.7.1    Dereceli Döküm Yöntemi.....	13
2.7.2    Seramik Kabuklu Döküm Yöntemi .....	14
2.8    Kayıp Mum Tekniğinde Kaplayıcı Malzemeler .....	16
2.8.1    Alçı .....	18
2.8.2    Fosfat Bağlı Malzemeler .....	18

2.9	Kayıp Mum Tekniğinde Kullanılan Kalıplar .....	19
2.9.1	Kauçuk Kalıplar .....	19
2.9.2	Silikon Kalıplar .....	19
2.9.3	Metal Kalıplar .....	19
2.10	Kayıp Mum Tekniğinde Model Malzemeleri.....	19
2.10.1	Plastik Modeller.....	20
2.10.2	Plastik-Mum Karışımı Modeller .....	21
2.10.3	Cıva Modeller.....	21
2.10.4	Mum Modeller.....	21
2.10.4.1	Doğal Ester Mumları .....	22
2.10.4.2	Doğal Hidrokarbon Mumları .....	23
2.10.4.3	Sentetik Mumlar .....	23
2.11	Kayıp Mum Tekniğinde İşlem Adımları .....	23
2.11.1	Ana Model Yapımı .....	24
2.11.2	Kauçuk Kalıp Yapımı.....	25
2.11.2.1	Kauçuk Kalıp Yapımında Kullanılan Araçlar .....	25
2.11.2.2	Kauçuğun Pişirilmesi (Vulkanizasyon) .....	26
2.11.3	Mum Modellerin Oluşturulması .....	28
2.11.4	Model Ağacının Oluşturulması .....	31
2.11.4.1	Çam Biçimi Dizim.....	32
2.11.4.2	Spiral Dizim.....	32
2.11.5	Model Ağacının Derece İçine Alınması .....	34
2.11.6	Derecenin Alçılanması .....	34
2.11.6.1	Silis Bağlı Kalsiyum Sülfat Alçı .....	35
2.11.6.2	Fosfat Bağlı Alçı .....	35
2.11.7	Alçıdan Mum İndirme .....	38
2.11.8	Alçı Kalıbın Pişirilmesi .....	38
2.11.9	Döküm .....	42
2.11.9.1	Santrifüj Döküm .....	42
2.11.9.2	Vakumlu Döküm.....	42
2.11.10	Alçının Temizlenmesi.....	43
2.11.11	Dökümün Tesviye ve Cilasası .....	44

### BÖLÜM 3

MUM İNDİRME PROSESİ .....	45	
3.1	Mum İndirme Yöntemleri .....	45
3.1.1	Kuru Yöntem.....	46
3.1.2	Buharlı Yöntem .....	46
3.1.3	Mikrodalgalı Yöntem .....	48
3.2	Kayıp Mum Tekniğinde Mumların Geri Kazanılması.....	48
3.2.1	Katılaştırma ve Paketleme.....	49
3.2.2	Eritme .....	49
3.2.3	Kurutma .....	49

## BÖLÜM 4

OTOKLAV .....	50
4.1 Otoklavların Yapısı .....	51
4.2 Otoklavın Kısımları .....	51
4.2.1 Kazan.....	52
4.2.2 Kapak .....	52
4.2.3 Termostat .....	52
4.2.4 Hava Boşaltma Musluğu .....	53
4.2.5 Basınç Ayar Subabı.....	53
4.2.6 Manometre ve Termometre.....	53
4.3 Buhar Sterilizatörünün (Otoklav) Çalıştırılması ve Kullanılması .....	53
4.4 Otoklav Tipleri ve Kullanım Alanları.....	54
4.4.1 Endüstriyel Otoklavlar .....	55
4.4.1.1 Cam Laminasyonunda Kullanılan Endüstriyel Otoklavlar .....	55
4.4.1.2 Vulkanizasyon İşleminde Kullanılan Endüstriyel Otoklavlar .....	55
4.4.1.3 Mum İndirme Prosesinde Kullanılan Endüstriyel Otoklavlar .....	56
4.4.1.4 Kompozit Endüstriyel Otoklavlar .....	57
4.5 Otoklavın Kullanımına Dair Güvenlik Önlemleri .....	58
4.5.1 Yanıkların Engellenmesine Yönelik Önlemler .....	58
4.5.2 Cereyan Çarpmasının Engellenmesine Yönelik Önlemler .....	58

## BÖLÜM 5

OTOKLAV FIRIN SİSTEMİ .....	59
5.1 Sistem Tanıtımı .....	59
5.2 Sistem Elemanları .....	61
5.2.1 Fırın Gövdesi ve Kazan.....	61
5.2.2 Kapak .....	62
5.2.3 Güç Kaynağı .....	62
5.2.4 Güç Kontrol Ünitesi ve Kontrol Sistemi (PLC) .....	62
5.2.5 Valf ve Borulama Elemanları .....	62
5.2.6 İzolasyon Malzemesi.....	62
5.2.7 Vakum Ünitesi.....	62
5.2.8 Mum Alma Kanalı .....	63
5.2.9 Ayar ve Gösterge Paneli .....	63
5.2.10 Kızak.....	63

## BÖLÜM 6

NÜMERİK ÇALIŞMALAR .....	64
6.1 Mesh Bağımsızlığı Analizi .....	64
6.2 Karşılaştırmalı Analizler.....	66
6.2.1 Akışkanın Türü .....	68
6.2.1.1 Hava- Buhar Karşılaştırması (1.5 m/s, 400 K).....	69
6.2.1.2 Hava- Buhar Karşılaştırması (3 m/s, 400 K).....	71
6.2.1.3 Hava- Buhar Karşılaştırması (4.5 m/s, 400 K).....	73

6.2.2	Akışkanın Giriş Sıcaklığı.....	75
6.2.2.1	400 K- 410 K Karşılaştırması (1.5 m/s, Buhar).....	75
6.2.2.2	400 K- 410 K Karşılaştırması (3 m/s, Buhar).....	77
6.2.2.3	400 K- 410 K Karşılaştırması (4.5 m/s, Buhar).....	79
6.2.3	Akışkanın Giriş Hızı.....	83
6.2.3.1	1.5 m/s- 3 m/s- 4.5 m/s Karşılaştırması (410 K, Buhar) .....	83
6.2.4	Proses Süresi.....	86
6.2.4.1	3 Saat- 6 Saat Karşılaştırması (4.5 m/s, 410 K, Buhar) .....	86
6.2.5	Fırın Geometrisi .....	88
6.2.5.1	Tek Girişli- 3 Girişli Karşılaştırması (4.5 m/s, 410 K, Buhar) .....	89
6.3	Önceki Çalışmalar İle Mukayese .....	92

## BÖLÜM 7

SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	93
----------------------------	----

KAYNAKLAR.....	97
----------------	----

ÖZGEÇMİŞ .....	101
----------------	-----

## SİMGE LİSTESİ

---

$C_{p_{air}}$	Havanın özgül ısısı
$C_{p_{vapor}}$	Su buharının özgül ısısı
$C_{p_{wax}}$	Parafin mumunun özgül ısısı
$k_{air}$	Havanın ısıl iletkenliği
$k_{vapor}$	Su buharının ısıl iletkenliği
$k_{wax}$	Parafin mumunun ısıl iletkenliği
$Q_{air}$	Havanın gizli ısısı
$Q_{vapor}$	Su buharının gizli ısısı
$Q_{wax}$	Parafin mumunun gizli ısısı
$T$	Fırın içi sıcaklık
$T_{liquidus-air}$	Havanın sıvılaşma sıcaklığı
$T_{liquidus-vapor}$	Su buharının sıvılaşma sıcaklığı
$T_{liquidus-wax}$	Parafin mumunun sıvılaşma sıcaklığı
$T_{solidus-air}$	Havanın katılaşma sıcaklığı
$T_{solidus-vapor}$	Su buharının katılaşma sıcaklığı
$T_{solidus-wax}$	Parafin mumunun katılaşma sıcaklığı
$\mu_{air}$	Havanın viskozitesi
$\mu_{vapor}$	Su buharının viskozitesi
$\mu_{wax}$	Parafin mumunun viskozitesi
$\rho_{air}$	Havanın yoğunluğu
$\rho_{vapor}$	Su buharının yoğunluğu
$\rho_{wax}$	Parafin mumunun yoğunluğu



## KISALTMA LİSTESİ

---

CFD	Computational Fluid Dynamics (Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği)
EN	Erime Noktası
HTF	Heat Transfer Fluid (Isı Transfer Akışkanı)
ISO	International Organization for Standardization (Uluslararası Standartlar Teşkilatı)
MÖ	Milattan Önce
MS	Milattan Sonra
PCM	Phase Changing Material (Faz Değişim Malzemesi)
PLC	Programmable Logic Controller (Programlanabilir Mantık Denetleyici)

## ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2. 1	Kayıp mum tekniğiyle yapılmış heykeller..... 5
Şekil 2. 2	Alacahöyük bronz geyik heykeli ..... 6
Şekil 2. 3	a. Mum modeli ile birlikte türbin kanadı b. Kayıp mum tekniği ile üretilen türbin..... 8
Şekil 2. 4	Kayıp mum tekniğinde döküm yöntemleri şeması ..... 12
Şekil 2. 5	Dereceli döküm yöntemi şeması..... 13
Şekil 2. 6	Dereceli döküm yönteminin işlem kademeleri..... 14
Şekil 2. 7	Seramik kabuklu döküm yönteminde modelin kaplanması a. Mum model b. Seramik kaplanmış mum model c. Seramik kalıp ..... 15
Şekil 2. 8	Seramik kalıba döküm a. Erimiş metalin dökümü b. Seramik kalıbın kırılması c. İmal edilen döküm parça ..... 16
Şekil 2. 9	Seramik kabuklu döküm yönteminin işlem kademeleri ..... 16
Şekil 2. 10	Dereceli hassas döküm kalıbı kesiti ..... 17
Şekil 2. 11	Kayıp mum tekniğinde kullanılan araçlar..... 24
Şekil 2. 12	Kayıp mum tekniğinde kullanılan ince levha şeklindeki kauçuk ..... 25
Şekil 2. 13	Pişirme dereceleri ..... 26
Şekil 2. 14	a. Perçinleme yöntemi ile b. Kesim yöntemi ile merkezleme..... 26
Şekil 2. 15	a. Ana modelin kauçuk kalıba yerleştirilmesi b. Pişirmeye hazır kauçuk kalıp ..... 27
Şekil 2. 16	Kauçuk pişirmede kullanılan vulkanizatör ..... 27
Şekil 2. 17	Kauçuk kalıp yapımı ..... 28
Şekil 2. 18	Kauçuk kalıbın kesim işlemi ve ana modelin çıkarılması..... 28
Şekil 2. 19	Mum enjeksiyon kazanı ..... 29
Şekil 2. 20	Mum enjeksiyonunda kullanılan mumlar ..... 29
Şekil 2. 21	a. Mum kazanından kauçuk kalıba mum enjekte edilmesi b. Hazırlanan mum modeller..... 30
Şekil 2. 22	Mum modellerin oluşturulması ..... 31
Şekil 2. 23	Model ağacının kısımları ..... 31
Şekil 2. 24	a. Sap mumunun derece alt lastiği üzerindeki hazır hali b. Mum havyası... 32
Şekil 2. 25	a. Çam biçimi dizim b. Spiral dizim..... 33
Şekil 2. 26	Mum modellerin sap mumu üzerindeki konumu ve sap mumuna havya ile dizilmesi ..... 33
Şekil 2. 27	Model ağacı ve derece ..... 34
Şekil 2. 28	Alçının elle ve otomatik olarak karıştırılması ..... 35

Şekil 2. 29	Otomatik alçı karıştırma ve vakumlama makinesi .....	36
Şekil 2. 30	Alçının dereceye elde dökülmesi .....	36
Şekil 2. 31	Derecenin alçılanması .....	38
Şekil 2. 32	Alçı pişirme fırını .....	39
Şekil 2. 33	Mum indirme alçı pişirme işlem diyagramı.....	39
Şekil 2. 34	Döner tablalı alçı pişirme fırını .....	41
Şekil 2. 35	a. Santrifüj döküm b. Vakumlu döküm .....	42
Şekil 2. 36	Alçı temizleme makineleri.....	43
Şekil 2. 37	Kayıp mum tekniğinde döküm ağaçları.....	44
Şekil 2. 38	Dökümün tesviye ve cila işlemi .....	44
Şekil 3. 1	Buharlı mum indirme prosesi.....	47
Şekil 3. 2	Buharlı mum indirme cihazı .....	47
Şekil 4. 1	Basit otoklav fırını .....	50
Şekil 4. 2	Otoklav cihazı kapak contası .....	52
Şekil 4. 3	a. Tezgah üstü otoklav b. Büyük boyutlu otoklav .....	54
Şekil 4. 4	Cam laminasyonunda kullanılan endüstriyel otoklavlar .....	55
Şekil 4. 5	Vulkanizasyon işleminde kullanılan endüstriyel otoklav .....	56
Şekil 4. 6	Mum indirme prosesinde kullanılan endüstriyel otoklav .....	56
Şekil 4. 7	Kompozit endüstriyel otoklav .....	57
Şekil 4. 8	Radyoaktif maddelerin taşınması ve depolanmasında kullanılan endüstriyel otoklavlar .....	57
Şekil 4. 9	Gazbeton üretiminde kullanılan endüstriyel otoklavlar .....	57
Şekil 5. 1	Otoklav fırını tasarımı.....	60
Şekil 5. 2	Otoklav fırını tasarımının yandan görünümü.....	60
Şekil 5. 3	Tasarlanan otoklav fırın ölçüleri.....	61
Şekil 6. 1	a. 4 mm b. 3 mm c. 2 mm boyutlu üçgen meshler .....	65
Şekil 6. 2	Mesh bağımsızlığı analizi için fırın içerisinde belirlenen 6 nokta.....	66
Şekil 6. 3	Her bir mesh boyutu için sıcaklık dağılım grafiği .....	66
Şekil 6. 4	Tek girişli otoklav fırını geometrisi .....	67
Şekil 6. 5	Karşılaştırmalı sıcaklık dağılımı analizi için fırın içerisinde belirlenen 10 nokta .....	68
Şekil 6. 6	a. 1.5 m/s- Hava- 400 K b. 1.5 m/s- Buhar- 400 K sıcaklık dağılımları .....	69
Şekil 6. 7	1.5 m/s- Hava- 400 K ve 1.5 m/s- Buhar- 400 K sıcaklık dağılım grafiği.....	69
Şekil 6. 8	a. 1.5 m/s- Hava- 400 K b. 1.5 m/s- Buhar- 400 K erime karakteristikleri ...	70
Şekil 6. 9	a. 1.5 m/s- Hava- 400 K b. 1.5 m/s- Buhar- 400 K erime karakteristiği histogramı .....	70
Şekil 6. 10	a. 3 m/s- Hava- 400 K b. 3 m/s- Buhar- 400 K sıcaklık dağılımları .....	71
Şekil 6. 11	3 m/s- Hava- 400 K ve 3 m/s- Buhar- 400 K sıcaklık dağılım grafiği.....	71
Şekil 6. 12	a. 3 m/s- Hava- 400 K b. 3 m/s- Buhar- 400 K erime karakteristikleri .....	72
Şekil 6. 13	a. 3 m/s- Hava- 400 K b. 3 m/s- Buhar- 400 K erime karakteristiği histogramı .....	72
Şekil 6. 14	a. 4.5 m/s- Hava- 400 K b. 4.5 m/s- Buhar- 400 K sıcaklık dağılımları .....	73
Şekil 6. 15	4.5 m/s- Hava- 400 K ve 4.5 m/s- Buhar- 400 K sıcaklık dağılım grafiği.....	73
Şekil 6. 16	a. 4.5 m/s- Hava- 400 K b. 4.5 m/s- Buhar- 400 K erime karakteristikleri ...	74
Şekil 6. 17	a. 4.5 m/s- Hava- 400 K b. 4.5 m/s- Buhar- 400 K erime karakteristiği histogramı .....	74

Şekil 6. 18	a. 1.5 m/s- Buhar- 400 K b. 1.5 m/s- Buhar- 410 K sıcaklık dağılımları.....	75
Şekil 6. 19	1.5 m/s- Buhar- 400 K ve 1.5 m/s- Buhar- 410 K sıcaklık dağılım grafiği .....	76
Şekil 6. 20	a. 1.5 m/s- Buhar- 400 K b. 1.5 m/s- Buhar- 410 K erime karakteristikleri..	76
Şekil 6. 21	a. 1.5 m/s- Buhar- 400 K b. 1.5 m/s- Buhar- 410 K erime karakteristiği histogramı .....	77
Şekil 6. 22	a. 3 m/s- Buhar- 400 K b. 3 m/s- Buhar- 410 K sıcaklık dağılımları .....	77
Şekil 6. 23	3 m/s- Buhar- 400 K ve 3 m/s- Buhar- 410 K sıcaklık dağılım grafiği .....	78
Şekil 6. 24	a. 3 m/s- Buhar- 400 K b. 3 m/s- Buhar- 410 K erime karakteristikleri.....	78
Şekil 6. 25	a. 3 m/s- Buhar- 400 K b. 3 m/s- Buhar- 410 K erime karakteristiği histogramı .....	79
Şekil 6. 26	a. 4.5 m/s- Buhar- 400 K b. 4.5 m/s- Buhar- 410 K sıcaklık dağılımları.....	79
Şekil 6. 27	4.5 m/s- Buhar- 400 K ve 4.5 m/s- Buhar- 410 K sıcaklık dağılım grafiği .....	80
Şekil 6. 28	a. 4.5 m/s- Buhar- 400 K b. 4.5 m/s- Buhar- 410 K erime karakteristikleri..	80
Şekil 6. 29	a. 4.5 m/s- Buhar- 400 K b. 4.5 m/s- Buhar- 410 K erime karakteristiği histogramı .....	81
Şekil 6. 30	a. 3 m/s- Buhar- 410 K- 3 girişli b. 3 m/s- Buhar- 430 K- 3 girişli erime karakteristikleri .....	82
Şekil 6. 31	a. 3 m/s- Buhar- 410 K- 3 girişli b. 3 m/s- Buhar- 430 K- 3 girişli erime karakteristiği histogramı .....	82
Şekil 6. 32	a. 1.5 m/s- Buhar- 410 K b. 3 m/s- Buhar- 410 K c. 4.5 m/s- Buhar- 410 K sıcaklık dağılımları .....	83
Şekil 6. 33	1.5 m/s- Buhar- 410 K , 3 m/s- Buhar- 410 K ve 4.5 m/s- Buhar- 410 K sıcaklık dağılım grafiği .....	84
Şekil 6. 34	a. 1.5 m/s- Buhar- 410 K b. 3 m/s- Buhar- 410 K c. 4.5 m/s- Buhar- 410 K erime karakteristikleri.....	84
Şekil 6. 35	a. 1.5 m/s- Buhar- 410 K b. 3 m/s- Buhar- 410 K c. 4.5 m/s- Buhar- 410 K erime karakteristiği histogramı.....	85
Şekil 6. 36	a. 4.5 m/s- Buhar- 410 K- 3 h b. 4.5 m/s- Buhar- 410 K- 6 h sıcaklık dağılımları.....	86
Şekil 6. 37	4.5 m/s- Buhar- 410 K- 3 h ve 4.5 m/s- Buhar- 410 K- 6 h sıcaklık dağılım grafiği .....	86
Şekil 6. 38	a. 4.5 m/s- Buhar- 410 K- 3 h b. 4.5 m/s- Buhar- 410 K- 6 h erime karakteristikleri .....	87
Şekil 6. 39	a. 4.5 m/s- Buhar- 410 K- 3 h b. 4.5 m/s- Buhar- 410 K- 6 h erime karakteristiği histogramı .....	87
Şekil 6. 40	3 girişli otoklav fırını geometrisi.....	88
Şekil 6. 41	3 girişli fırın içerisinde belirlenen 10 nokta.....	89
Şekil 6. 42	a. 4.5 m/s- Buhar- 410 K- Tek girişli b. 4.5 m/s- Buhar- 410 K- 3 girişli sıcaklık dağılımları .....	89
Şekil 6. 43	4.5 m/s- Buhar- 410 K- Tek girişli ve 4.5 m/s- Buhar- 410 K- 3 girişli sıcaklık dağılım grafiği .....	90
Şekil 6. 44	a. 4.5 m/s- Buhar- 410 K- Tek girişli b. 4.5 m/s- Buhar- 410 K- 3 girişli erime karakteristikleri.....	90
Şekil 6. 45	a. 4.5 m/s- Buhar- 410 K- Tek girişli b. 4.5 m/s- Buhar- 410 K- 3 girişli erime karakteristiği histogramı.....	91

## ÇİZELGE LİSTESİ

---

	Sayfa
Çizelge 2. 1	Kayıp mum tekniğinin diğer yöntemlerle karşılaştırılması..... 11
Çizelge 2. 2	Alçı-su miktarını gösteren tablo ..... 37
Çizelge 2. 3	Bazı metaller için derecenin döküm anında sahip olması gereken sıcaklık ..... 40
Çizelge 2. 4	Döküm metalleri ve özgül ağırlıkları..... 43
Çizelge 7. 1	Akışkanın türüne göre karşılaştırma çizelgesi ..... 93
Çizelge 7. 2	Akışkanın giriş sıcaklığına göre karşılaştırma çizelgesi ..... 94
Çizelge 7. 3	Akışkanın giriş hızına göre karşılaştırma çizelgesi ..... 95
Çizelge 7. 4	Proses süresine göre karşılaştırma çizelgesi ..... 95
Çizelge 7. 5	Fırın geometrisine göre karşılaştırma çizelgesi ..... 96

## MUM İNDİRME PROSESİNİN OTOKLAV KULLANILARAK DİZAYNI VE OPTİMİZASYONU

Batuhan ASLAN

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Nader JAVANI

Eş Danışman: Prof. Dr. Ali PINARBAŞI

Bu tez kapsamında, kayıp mum tekniğiyle dökümün proseslerinden biri olan alçıdan mum indirme esnasında karşılaşılan; proses süresi, enerji kaybı, düşük ürün kalitesi ve hava kirliliği gibi sıkıntıların giderilmesi amacıyla bir otoklav fırın modeli oluşturulmuş, fırın içi üniform sıcaklık dağılımının sağlanması ve derecelerdeki mumun erime karakteristiklerinin belirlenmesinde nümerik analiz ve sonuçlara göre bir optimizasyon yapılmıştır. Daha sonra model değerlendirilmiş ve daha önceki çalışmalarla mukayese edilerek sonuçlar incelenmiştir.

Otoklav fırın içi sıcaklık dağılımını sağlamak ve derecelerin içerisindeki mumun erime karakteristiklerini incelemek için; akışkanın türü (hava, doymuş su buharı), akışkanın giriş sıcaklığı (400 K, 410 K), akışkanın giriş hızı (1.5 m/s, 3 m/s, 4.5 m/s), proses süresi (3h, 6h) ve fırın geometrisi (tek girişli, 3 girişli) parametreleri karşılaştırılmıştır. Analizlerde; su buharı ile yapılan analizlerin, hava akışkanı ile yapılan analizlere göre fırın içi daha homojen bir sıcaklık dağılımı sağladığı görülür. Akışkanın giriş sıcaklığının artmasıyla, mumlar daha iyi erime karakteristiği göstermiştir. Akışkanın giriş hızının artması, fırın içi ortalama sıcaklıkları arttırmış; ayrıca mumlar daha iyi erime karakteristiği göstermiştir. Proses süresi; sıcaklık dağılımı ve mumun erime karakteristikleri üzerinde orantılı olarak etkilidir. Son olarak; bu analizler, fırın geometrisi yönünden incelendiğinde; 3 girişli ile yapılan analizlerdeki mumların, tek girişli ile yapılan analizlerdeki mumlara göre daha iyi erime karakteristiği göstermesiyle

birlikte; tek girişli fırın geometrisinde yapılan analizlerin, 3 girişli fırın geometrisinde yapılan analizlere göre fırın içi daha homojen bir sıcaklık dağılımlı sağladığı görülür.

**Anahtar Kelimeler:** Mum İndirme Prosesi, Otoklav, Hassas Döküm, Kayıp Mum Tekniği, CFD Analizi, Optimizasyon

**DESIGN AND OPTIMIZATION OF DEWAXING PROCESS BY USING AN  
AUTOCLAVE**

Batuhan ASLAN

Department of Mechanical Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Asst. Prof. Nader JAVANI

Co-Adviser: Prof. Ali PINARBASI

In this study, an autoclave oven model is created in order to overcome the related drawbacks, such as processing time, energy loss, low product quality and air pollution during dewaxing process. Temperature variations have the most deterministic effect on the melting rate, melting time and heat transfer rate. The dewaxing process is considered as a method for the lost wax process. Numerical analysis and optimization are conducted to deliver more uniform temperature distribution inside the autoclave oven and melting characteristics of wax inside the flasks. Thereafter, the model is evaluated and results are investigated by comparison with previous studies in the literature review.

In order to ensuring uniform temperature distribution inside the autoclave and examining melting characteristics of wax, parameters such as different fluids (including air and saturated vapor), fluid inlet temperatures (400 K, 410 K), fluid inlet velocities (1.5 m/s, 3 m/s, 4.5 m/s), processing time (3h, 6h) and oven geometry (with single inlet and 3 inlets) are compared. Results show that more uniform temperature distributions can be obtained with vapor than air. Increasing the inlet temperature of fluid will have better effect on the melting characteristics of the wax. Also, increasing the inlet velocity of fluid increases the average temperatures inside the oven and waxes show



better melting characteristics. Process time affects the temperature distribution and melting characteristics of wax in a linear way. In terms of oven geometry, better melting characteristics are observed for 3 inlets of fluid compared to single inlet while more uniform temperature is obtained with single inlet fluid.

**Keywords:** Dewaxing Process, Autoclave, Investment Casting, Lost Wax Method, CFD Analysis, Optimization

#### 1.1 Literatür Özeti

Literatürde kayıp mum tekniği ve mum indirme prosesi konularında birçok çalışma yapılmıştır ve halen yapılmaktadır.

Kubiak vd. [1] bir otoklavda mum indirme prosesi esnasında yetersiz kurutma zamanının ve nemliliğin, seramik tabakada çatlaklara ve bozulmalara sebebiyet verdiğini; bundan dolayı istenilen geometride sorunlar olabileceğini savunmuştur. Ayrıca bu durum, mumun ve kalıbın ısıl genleşme katsayısının da bir sonucudur. Isıl genleşme katsayıları lineer olarak bakıldığında; artan sıcaklıkla birlikte mum, kalıba göre çok yüksek bir değerdedir.

Oda sıcaklığındaki çoğu seramiğin, zayıf mikrodalga emilimleri yüzünden ısıtılmaları zordur. Bu nedenle doğrudan mikrodalga ile birlikte konvansiyonel ısıtmanın bir arada kullanılması ortaya çıkmıştır. Izman vd. [2] mikrodalga ile mum indirme prosesi için, seramik kalıba eklenen kömür ile, mikrodalga emilimini arttırmayı ve mum indirme işlem süresini düşürmeyi amaçlamıştır. Sonuçlar göstermiştir ki, seramik kalıptaki kömür miktarının artması, mum indirme işlem süresini belirgin bir şekilde düşürmektedir. Kalıp içindeki kömür miktarı %25'e kadar olduğunda seramik kalıpta çatlama gözlenmemiştir. Bu miktardan sonra mum indirme süresi %40'a kadar azalmıştır fakat kalıbın dış bölgesinde çatlama gözlenmiştir.

Hassas döküm tekniğinde; mumun, boyutsal değişiklik ya da kalıp çatlama olmadan uzaklaştırılması önemli bir husustur. Yuan vd. [3] otoklav buharının etkisinin polimer ve fiber kaplı hassas döküm kalıbı üzerindeki davranışını araştırmıştır. Polimer kaplı

sistem, yüksek mekanik dayanıklılık göstermesine rağmen; bu dayanıklılık, otoklav buharıyla belirgin bir şekilde düşmektedir. Sonuçlar önermiştir ki; otoklav koşulları altında seramik kabuk davranışı incelendiğinde nemin etkisi hesaba katılmalıdır.

Bu çalışmaların haricinde, faz değiştiren malzeme olan parafin mumunun erime sırasındaki karakteristiklerinin belirlenmesi amacıyla yapılan nümerik çalışmalar da vardır.

Aadmi ve Karkri [4] yatay metal bir tüp içerisinde, faz değiştiren bir malzeme olan parafin mumunun erimesi ve katılaşması süresince gösterdiği ısı değişimleri nümerik ve deneysel açıdan ele almaktadır.

Saeed K vd. [5] farklı geometri ve konfigürasyondaki bir faz değişim malzemesinin, erime karakteristiklerinin analizini yapmıştır. Faz değişim malzemesi olarak parafin mumunu seçmişlerdir. Dikdörtgen blok, küre ve silindir geometrileri ile çalışmışlardır. Erime prosesini simule etmek için CFD model kullanmışlardır.

## 1.2 Tezin Amacı

Mevcut durumda uygulanan yöntemde, mum kalıplarının erimesi sırasında bir kısmı buharlaşır ve hidrokarbonlar, asit buharları gibi atık gazlar oluşur. Bu gazların içerisindeki tam yanmamış mum, baca kanallarında birikerek **yangın** riskini oluşturur. Bu nedenle mumun ortamdaki yakılmadan uzaklaştırılması son derece önemlidir. Mumun hızla ortamdaki yakılmadan uzaklaştırılması, enerji sarfiyatının önüne geçmiş olur. Kullanılan fırınlarda, mum indirme prosesinden sonra artık durumdaki mum tekrar kullanılmaya uygun değildir.

Gerçekleştirilmesi tasarlanan otoklav fırını sayesinde, mumun yakılmadan uzaklaştırılması ve bu sayede **yeniden kullanımı** amaçlanmaktadır. Bu da mumun kullanılma periyodunun artmasını sağlayarak maliyetlerin düşmesinin sonucunu doğuracaktır. Buharla mumdaki yakılmadan uzaklaştırılan kalıplarda, kuru mum ile yapılan dökümlere kıyasla gaz gözenekleri daha nadir görülür ve yüzeyleri daha pürüzsüzdür. Otoklav fırını ile mum izi bırakmadan kalıp boşaltılacaktır. Bu sayede nihai ürünün kalitesi artacak, üniform bir yapıya ulaşılacaktır.

Tasarlanacak otoklav fırınında işlem süresinin, mevcut fırınlara göre daha kısa olması amaçlanmaktadır. Bu da enerji sarfiyatını **minimum** seviyelere indirecektir. Günümüzde enerji verimliliği, kalite yönetimi, maliyet yönetimi gibi konuların yanında çevre yönetimi de önemli bir husustur. Bu hususta mumun yakılması sonucu çevreye salınan gazlar ISO 14001 çevre yönetmeliğine uygun duruma getirilmelidir. Tasarlanacak otoklav fırını bu yönüyle **çevre dostu** olacaktır.

Bu nedenle;

- Mumu hızla ortamdan uzaklaştıran
- Mumu yakmadan uzaklaştıran
- Mumun tekrar kullanımını sağlayan
- Mum izi bırakmadan kalıbı boşaltan
- Pişirme süresini azaltan

bir otoklav fırını tasarlanma ihtiyacı doğmuştur.

### **1.3 Hipotez**

Yapılan optimizasyonlar neticesinde, fırın içi homojen sıcaklık dağılımı sağlanacak; bu sayede toplam proses zamanı kısılacak ve enerji tüketimi düşecektir. Buhar kullanımı sayesinde yüzey kalitesi artacak ve mücevherat ya da ilgili endüstrilerde daha iyi ürün kalitesi elde edilecektir. Güncel sistemlerde kullanılan kuru yöntemle kıyasla, mumun yanması engellenecektir. Böylece hava kirliliği azalacak ve ünitelerden salınan gaz miktarı azaltılacaktır. Hava kirliliği konusu, çevresel kriterler ve ISO 14001 standardı düşünüldüğünde bu alanda çalışan endüstriyel tesisler için çok önemli bir konu olacaktır.

## BÖLÜM 2

---

### KAYIP MUM TEKNIĞİ

İngilizce'de 'Investment Casting', 'Presicion Casting' veya 'Lost Wax Method'; Almanca'da 'Feinguss' veya 'Schalenguss', Fransızcada ise 'Fondé a Cire Perdue' ismiyle anılan kayıp mum tekniği; son zamanlarda birçok sanayi dalı tarafından tercih edilen ve en yaygın döküm yöntemlerinden biridir. Kayıp mum tekniği, **hassas döküm prosesi** olarak da adlandırılmaktadır [6,7].

Bu yöntemde; dökülmesi istenen parçanın önce harcanabilen mum modeli yapılır, sonra da ısıya dayanıklı malzemeyle kaplanarak bir kalıp oluşturulur. Kalıp ısıtıldığında mum erir veya yanarak kaybolur. Böylece kalıp boşluğu meydana getirilir. Bu nedenle tekniğe, **kayıp mum tekniği** denir [8,9].

Kayıp mum tekniği, benzer geometrik şekillerde ve boyutlarda parça üretilmesine olanak verir. Bu üretim yöntemi, genellikle düşük üretim yoğunluğu düşünüldüğünde (10000 parçanın altında) kullanılır. Döküm parçaları; alüminyum ve bakır alaşımları, karbon ve düşük alaşımlı çelikler, paslanmaz çelikler, takım çelikleri ve nikel-kobalt alaşımları gibi metal alaşımların geniş çeşitliliğinden yapılır [10].

Kayıp mum tekniğinde üretilecek parça, yekpare bir kalıpla elde edildiğinden ve döküm sonunda işlemsiz veya çok az bir ek işlem ile kullanıma hazır olabildiğinden, parça tasarımı ve malzeme seçiminde özgürlük sağlar [11].

Kayıp mum tekniği; küçük boyuttaki, çok çeşitli şekilli ve ayrıntılı parçanın dökümünü mümkün kılmaktadır. Ayrıca bu yöntem; parçanın küçük, alaşımının sert veya

işlenmesinin zor olduğu ve hassas ölçülerde mükemmel yüzey istendiği durumlarda, diğer döküm yöntemlerinden daha düşük maliyetli çözümler sunar [12].

## 2.1 Kayıp Mum Tekniğinin Tarihsel Gelişimi

Kayıp mum tekniği; her ne kadar günümüzde yaygın bir şekilde kullanılan bir yöntem olsa da, tarihi binlerce yıl öncesine dayanır ve yaklaşık 6-7 bin yıllık geçmişi vardır [6].

Kayıp mum tekniğinin ilk uygulamalarının milattan önce 4500'lü yıllarda, Tayland civarında doğduğu tahmin edilmektedir. Daha sonra Mezopotamya'da MÖ 4000-2000 yılları arasında, Çin'de, Hindistan'da, Ege Denizi çevresinde ve Kuzey Avrupa'da, İtalya'da, Merkez ve Güney Amerika'da ve Batı Avrupa'da takı, süs eşyası ve özellikle heykel yapımında (Şekil 2.1) kullanılarak günümüze kadar geldiği arkeolojik kazılar sonucu anlaşılmıştır [7,13].



Şekil 2. 1 Kayıp mum tekniğiyle yapılmış heykeller [14]

İlk dökümler saf bakırla yapılmış ve bunu arsenikli bakır ile kalay bronz dökümleri izlemiştir. Bunlardan kısa bir süre sonra da altın dökümleri gerçekleştirilmiştir. İlk bakır döküm örnekleri, Mezopotamya'da MÖ 3500 civarında, yazının icadından önce kullanılan, kireç taşı veya manyezite oyulan mühürlerin arkasına monte edilen hayvan figürlerinde görülmektedir. Bir kaç yüzyıl sonra ise yine benzer örneklere bu defa Truva'da ve çeşitli Yunan şehirlerinde rastlanmaktadır [15].

Ankara yakınlarındaki Alacahöyük'te bulunan ve Hitit medeniyetine ait olduğu belirlenen; daha sonraları Anadolu otomobillerinin armasında da kullanılan ünlü bronz geyik heykeli Şekil 2.2'de görülmektedir. MÖ 2400'lü yıllara dayanan bu heykelin,

yolluk parçalarının üzerinde bulunması, heykelin kayıp mum tekniği ile döküldüğünü göstermektedir. Bu tarihi eser, Ankara Anadolu Medeniyetleri Müzesi'nde sergilenmektedir [15].



Şekil 2. 2 Alacahöyük bronz geyik heykeli [16]

Kayıp mum tekniğine ilişkin bilinen en eski metin (Schedula Diversarum), Theopilus Kilise yönetim kurulu üyesi olan bir keşiş tarafından hazırlanmıştır. Kayıp mum tekniğinin uygulanışı dahil olmak üzere çeşitli üretim süreçleri keşiş tarafından MS 1100 civarında yazılmıştır.

Kayıp mum tekniğini yetkinleştiren ise, Floransalı kuyumcu ve heykeltıraş Benvenuto Cellini olmuştur. Benvenuto Cellini yazmış olduğu 'Head Loggia dei Lanzi' adlı eserinde ayrıntılı olarak döküm süreçleriyle birlikte eseri tekrar derledikten sonra bilim dünyasına katmıştır. Cellini, 16. yüzyılda birçok altın döküm gerçekleştirmiştir [17].

Cellini'den sonra kayıp mum tekniği birçok istisna dışında hemen hemen kullanılmaz oldu. Yüzyılımızın başında kayıp mum tekniğine yeniden el atan ve bu tekniği geliştiren ise bir dişçi olmuştur [8].

### 2.1.1 Modern Kayıp Mum Tekniğine Geçiş

1901'de, Amerikalı dişçi Taggart, çürük kısmı oyulmuş bir dişi eski biçimine sokmak için bir yöntem geliştirdi. O zamana kadar dişler, oyuğa altın ya da gümüş doldurularak eski biçimlerine sokulurdu [8].

Taggart, boşluğa mum doldurup orijinal biçimini verecek bir düzeltme yaptıktan sonra, mum modeli çıkarıyor, ısıya dayanıklı bir dolgu maddesine gömüyor ve ısıtarak bu mumu bertaraf ettikten sonra, bunun bıraktığı boşluğa altın döküyordu. Bu şekilde dişçilikte protez yapımı konusunda kayıp mum tekniği kullanılmaya başlanmıştır [8,13].

Kayıp mum tekniğinin kuyumculuk alanında yaygın olarak kullanımı, 1930'larda kauçuğun model malzemesi olarak geliştirilmesinden sonra olmuştur. Böylece ziynet eşyalarının kullanıma hazır şekil ve boyutta, seri ve ucuz dökümü yapılabilmiştir. Kuyumcular, dişçilerin kayıp mum tekniğine bir yenilik olarak, kauçuk kalıp katarak, hemen hemen her mücevheri çok seri, hassas ve ucuz biçimde, altın, gümüş, platin ve paladyumdan üretir hale gelmişlerdir [14].

Kayıp mum tekniği, İkinci Dünya Savaşı yıllarında yeniden keşfedilmiştir. İkinci Dünya Savaşı süresince, karmaşık şekilli işlenmiş silah, teçhizat ve uçak parçası gibi acil askeri taleplerin artmasıyla birlikte makine ve alet endüstrisine çok büyük bir maliyet ve zaman yükü binmiştir. Bununla birlikte, Almanya'da ve Amerika'da bu taleplere işleme ve dövme atölyeleri yetişememekteydi. Kayıp mum tekniği burada imdada yetişti ve kısa yoldan nihai ürün toleranslarına çok yakın değerlerdeki parçaların istenen her türlü özel alaşımla dökülmesine olanak sağladı. Üreticiler bu yöntemle hemen hemen bütün makine operasyonlarından kurtuldu ve bu teknik tarihsel bir devrim geçirdi [14].

1950'lerden sonra kayıp mum tekniğinin yaygınlaşması ile, metal alaşımların döküm aralığı çok farklılaştı. Çelik, süper alaşım ve demir dışı marketlerin sayısı arttı. 50'li yılların ortalarında, seramik kabuklu döküm yöntemi ve dereceli döküm yöntemi üretilemeyen çok büyük parçaların üretimine ve çok yönlü kullanımına olanak verdi [7,14].

Bugün kayıp mum tekniği; hemen hemen her endüstride kullanılmakta olup, istenilen özelliklere ve boyutlara sahip parçalar; çok sayıda, kısa sürede ve kolaylıkla üretilebilmektedir.



## 2.2 Kayıp Mum Tekniğinin Endüstriyel Kullanım Alanları

Kayıp mum tekniğinin endüstriyel kullanım alanları çok geniştir. Bu uygulama alanları aşağıda verilmiştir [18]:

- Uzay sanayi, füzeler, yer destek sistemleri
- Uçak motorları, yakıt sistemleri, iskelet yapı
- Otomotiv sektörü, bisiklet komponentleri
- Bilgisayarlar, bilgi işlemciler, kameralar
- Elektriksel ekipmanlar, elektronik, iletişim
- Tıp aletleri ve ekipmanları, protez uygulamaları
- Denizcilik ekipmanları
- Tarım makineleri, tarımsal ekipmanlar
- Silah parçaları
- Tekstil makineleri
- Spor ekipmanları
- Pompa, türbin, makine parçaları
- Hidrolik ve pnömatik sistemler
- Kuyumculuk sektörü

Şekil 2.3'de kayıp mum tekniği ile üretilen bir türbin kanadı görülmektedir. Türbin, bu yöntem sayesinde üretilebilmektedir.



Şekil 2. 3 a. Mum modeli ile birlikte türbin kanadı b. Kayıp mum tekniği ile üretilen türbin [19]

### 2.3 Kayıp Mum Tekniğinin Avantajları

Kayıp mum tekniğinin, diğer yöntemlere kıyasla birçok avantajı vardır. Bunları sıralamak gerekirse [20-22];

- Kullanılan kalıp malzemesi ve tekniği bakımından diğer döküm yöntemlerine kıyasla, üretilen parçada daha iyi boyutsal doğruluk ve daha düzgün yüzey kalitesi sağlanır. Kayıp mum tekniğinde parça üzerindeki toleranslara uygun delik, kanal, dış gibi ince detaylar da yapılabilmektedir.
- Daha önceki maddede anlatıldığı gibi; kayıp mum tekniği, yüksek erime noktalı alaşımların yakın boyutsal toleranslı ve iyi yüzey kaliteli dökümüne olanak sunar. Bundan dolayı döküm sonrası tesviye ve cila işlemlerine neredeyse hiç gerek duyulmaz [23].
- Malzeme seçiminde büyük serbestlik vardır. Şöyle ki; bu teknik, ergitilebilen ve dökülebilen bütün metallere uygulanabildiği için istenilen özellikte veya ihtiyaca göre, alaşımların kullanımına olanak sağlar. Ayrıca vakum veya ısı işlem sırasında, metal yüzeylerin tepkime ile bileşimlerinin değişimini önlemek için kullanılan koruyucu atmosfer altında dökülmesi gerekli olan metal veya alaşımlara da yöntem kolaylıkla uygulanabilmektedir. Tüm mühendislik ihtiyacına cevap veren bir tekniktir.
- Kayıp mum tekniği; demir ve demir dışı metal ve alaşımlardan, 1 gramdan 35 kilograma kadar karışık şekillerdeki parçaların üretimine olanak verir. Öyle ki; titanyum uçak motorlarının ve 1,5 mm et kalınlığındaki yapısal uçak gövdesi parçalarının dökümünü içeren son zamanlardaki ilerlemeler, önceden kullanılan levha metal yapılar ile yarışır hale gelmiştir [23].
- Parça tasarımında büyük serbestlik vardır. Şöyle ki; diğer üretim yöntemleri ile üretilmesi zor ve hatta imkansız karmaşık şekilli parçaların kısa sürede ve çok sayıda elde edilmesi, kayıp mum tekniği ile mümkündür.
- Kayıp mum tekniğinde tek parça kalıp kullanıldığından ayırma yüzeyi yoktur. Bu nedenle imal edilen döküm parçalarında bölme yüzeyi izi olmaz.
- Her ne kadar kalıp malzemeleri ve işçilik, kayıp mum tekniğinin maliyetini yükseltse de, döküm sonrası tesviye ve cila işlemlerine neredeyse hiç gerek

duyulmamasından dolayı dökümün toplam maliyetinde ek bir tesviye maliyeti yaratılmaz [23].

- Kayıp mum tekniği ile üretilen parçaların iç yapısına bakıldığında; daha küçük tane yapısı ve düzgün bir dağılım ile karşılaşılır. Bu da parçanın mukavemet açısından iyi olduğunu gösterir.

#### **2.4 Kayıp Mum Tekniğinin Sınırlamaları**

Kayıp mum tekniğinin önceki bölümde anlatılan avantajlarının yanında, kullanım sınırlamaları da vardır. Bu sınırlamalara bakılırsa;

- Kayıp mum tekniğinde model, harcanan tiptendir. Dolayısıyla her bir parçanın üretimi için ayrı bir model üretilmesi gerekmektedir.
- Kayıp mum tekniği mekanizasyona pek uygun değildir, işçilik ön plandadır. Bu nedenle üretim hızı ve kapasitesi düşüktür.
- Kayıp mum tekniğinde maliyet, parça maliyeti açısından bakıldığında; üretimin çok sayıda işlem içermesinden dolayı yükselir. Ancak üretilecek parça sayısı arttıkça yöntem ekonomikleşir [20-22].

#### **2.5 Kayıp Mum Tekniğinde Toleranslar**

Kayıp mum tekniğinde toleranslar, üretilecek parçanın şekline, kütlesine ve boyutlarına bağlı olup; proste kullanılan malzemeler ve üretim şartlarına bağlı ölçüsel sapmaların toplamıdır. Tolerans seçimi, tasarım aşamasında belirlenmeli ve kritik ölçülerden kaçınılmalıdır [24].

İstenilen tolerans aralığı, döküm sonrası tolerans aralığından dar ise, ölçülere işleme payı ilave etmek gerekir. İşleme payları, boyutlara bağlı olup; genellikle 0,3 mm ile 1,5 mm arasında verilmektedir [24].

#### **2.6 Kayıp Mum Tekniğinin Diğer Yöntemlerle Karşılaştırılması**

Kayıp mum tekniğinin diğer yöntemlerle karşılaştırılması Çizelge 2.1'de gösterilmiştir. Bu çizelgeye bakıldığında; kayıp mum tekniğinde tolerans aralığı, dizayn serbestliği,

alaşım seçimi, boyutsal aralık özelliklerinin mükemmel; işleme süresinin kısa, yüzey bitirmenin iyi ve yatırım maliyetinin orta olduğu görülür.

Çizelge 2. 1 Kayıp mum tekniğinin diğer yöntemlerle karşılaştırılması<sup>1</sup> [24]

PROSES	Tolerans Aralığı	Dizayn Serbestliği	Alaşım Seçimi	Boyutsal Aralık	İşleme Süresi	Yüzey Bitirme	Yatırım Maliyeti
Kayıp Mum Tekniği	****	****	****	****	Kısa	***	Orta
Basınçlı Döküm	****	****	*	***	Uzun	***	Yüksek
Toz Metalurjisi	****	**	***	**	Uzun	****	Yüksek
Pres ile Basma	****	***	**	**	Kısa	***	Yüksek
Dövme	**	**	***	**	Uzun	**	Yüksek
Kum Döküm	***	***	***	***	Kısa	**	Düşük

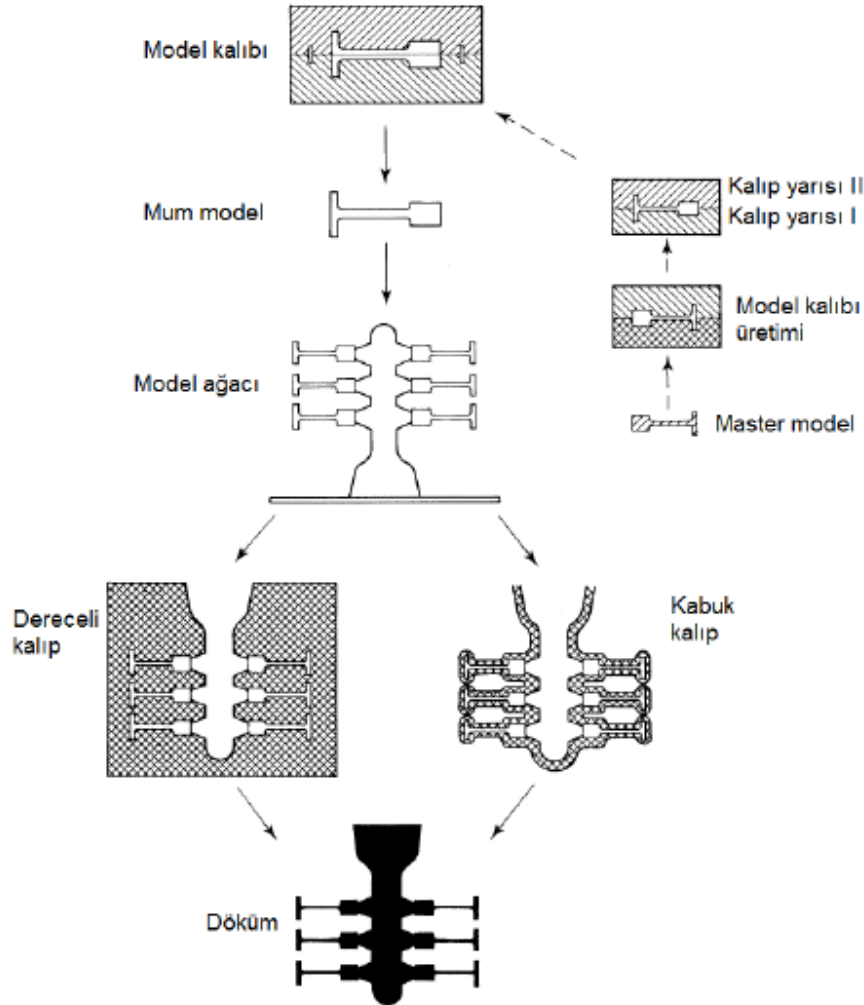
<sup>1</sup> \*: Düşük, \*\*: Orta, \*\*\*: İyi, \*\*\*\*: Mükemmel

## 2.7 Kayıp Mum Tekniğinde Döküm Yöntemleri

Dökülen metalin türü, parça boyutları, istenen soğuma hızı gibi faktörlere bağlı olarak; kalıp hazırlama açısından Şekil 2.4'de de görüldüğü gibi aşağıdaki iki farklı döküm yönteminden biri seçilir. Bunlar [13];

- Dereceli Döküm Yöntemi (Solid Investment-Flask Investment)
- Seramik Kabuklu Döküm Yöntemi (Shell Investment)

İki yöntem de model oluşturma tekniği açısından tamamen aynıdır. Seramik kabuklu döküm yönteminin dereceli döküm yönteminden farklı yanı, modellerin oluşturulduktan sonra her zaman bir ön kaplama prosesinden geçmesidir. Dereceli döküm yönteminde ise, daha önce anlatılan faktörlere bağlı olarak modellere ön kaplama işlemi yapılabilir veya hiç ön kaplama yapılmayabilir [25].

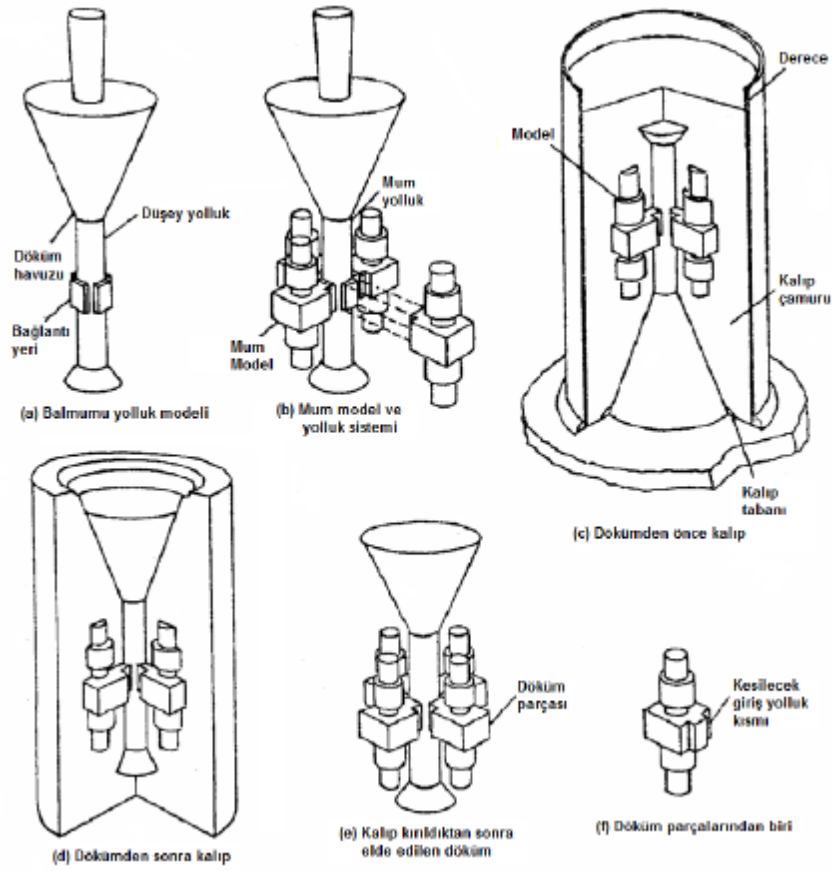


Şekil 2. 4 Kayıp mum tekniğinde döküm yöntemleri şeması [26]

### 2.7.1 Dereceli Döküm Yöntemi

Dereceli kalıp yöntemi, modellere kaplama işlemi yapılıp yapılmamasına bağlı olarak; demir esaslılar ve demir dışı alaşımlar için olmak üzere ikiye ayrılır. Demir dışı alaşımlarda kaplayıcı ve refrakter malzeme olarak genellikle alçı kullanılır. Döküm sıcaklığı diğer alaşımlara göre düşük demir dışı alaşımlarda ön kaplamaya ihtiyaç yoktur. Demir esaslılarda ise bir ön kaplama işlemi yapılmalıdır.

Şekil 2.5’de, dereceli döküm yönteminin şeması bulunmaktadır.



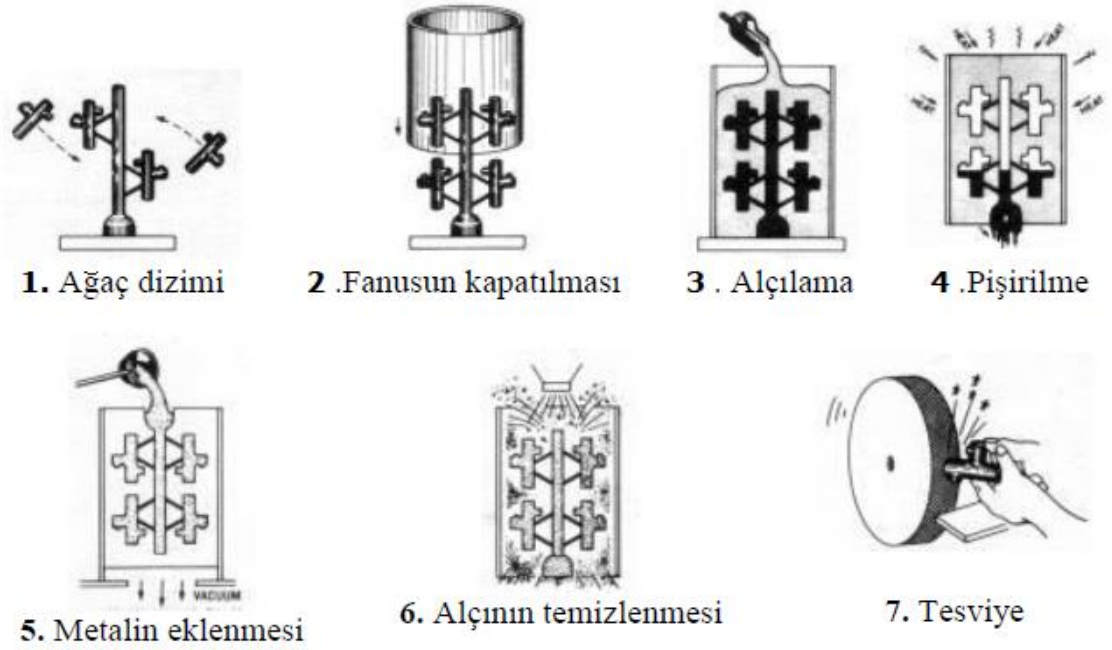
Şekil 2. 5 Dereceli döküm yöntemi şeması [25]

Dereceli döküm yönteminin işlem kademelerini sıralamak gerekirse [27];

- Üretilen parçanın modelleri, eritilerek model ağacına yapıştırılır.
- Genellikle silindirik bir derece (fanus), model ağacı etrafına geçirilir.
- Derece ile model ağacı arasındaki tüm boşluklara kaplayıcı malzeme dökülür.
- Yakma fırınında veya mum indirme kazanında, mum indirme işlemi yapılır. Kalıp belirli bir rejim halinde pişirilir.

- Sıcak kalıp, ergimiş metal ile doldurulur. Vakum veya merkezkaç kuvvetiyle döküm işlemi yapılır.
- Basınçlı su püskürterek veya kumlama makinesinde kumlanarak kalıp malzemesi temizlenir.
- Döküm ağacından koparılan parçalara, tesviye ve cila işlemleri yapılarak döküm sonrası kullanıma hazır hale getirilirler.

Şekil 2.6'da dereceli döküm yönteminin işlem kademeleri gösterilmiştir.



Şekil 2. 6 Dereceli döküm yönteminin işlem kademeleri [27]

### 2.7.2 Seramik Kabuklu Döküm Yöntemi

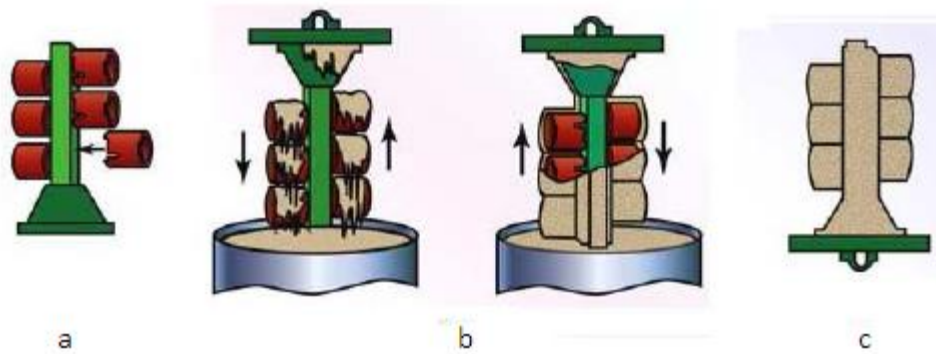
Seramik kabuklu döküm yöntemi öncelikle demir esaslı; karbon çelikleri ve alaşımlı çeliklerle, paslanmaz çelikler ve ısıya dirençli alaşımların dökümünde kullanılır. Bu yöntemde modeller, bir sıvı içinde süspansiyon halinde bulunan, seramik tozunun meydana getirdiği çamur içine daldırılır ve seramik kaplı ıslak yüzeye, kuru refrakter taneleri yapıştırılır. Bu işlem yeterli kabuk kalınlığı elde edilinceye kadar tekrar edilir. Başlangıçtaki kaplamaya 'ön kaplama' adı verilir ve genellikle çok ince öğütülmüş tanelerden oluşan bir çamur kullanılır. Bu kaplamanın üzerine yapılacak kaplama

malzemesi ise iri tanelidir. Bu şekilde düzgün bir yüzey elde edilir. Ön kaplamanın düzgünlüğü, döküm yüzeyinin düzgünlüğünü belirler [13,25].

Seramik kabuklu döküm yönteminin işlem kademelerini sıralamak gerekirse [13];

- Üretilcek parçanın modelleri, kalıp yardımıyla oluşturulur. Daha sonra eritilerek model ağacına yapıştırılır.
- Temizlenmiş ve uygun durumdaki model ağacı, seramik tozunun meydana getirdiği çamur içine daldırılarak ön kaplama işlemi yapılır.
- Ön kaplama işleminden sonra, bu kaplama üzerine yüksek direnç ve gerekli kalınlığın imal edilebilmesini sağlamak amacıyla iri taneli kaplama işlemi yapılır. Salkımın boyutları ve dökülecek metale göre kaplamanın katman sayısı değişmektedir. Genellikle bu aralık 6 ila 9 katman arasındadır.

Şekil 2.7’de seramik kabuklu döküm yönteminde modelin kaplanması gösterilmiştir.

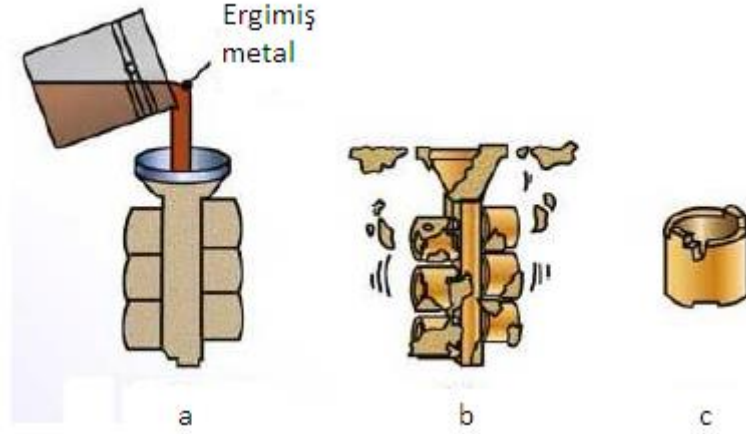


Şekil 2. 7 Seramik kabuklu döküm yönteminde modelin kaplanması a. Mum model b. Seramik kaplanmış mum model c. Seramik kalıp [28]

- Tamamıyla kaplanan salkım, yakma fırınında veya otoklavda, model malzemesinden arındırılır. Kalıp belirli bir rejim halinde pişirilir.
- Sıcak kalıp, ergimiş metal ile doldurularak döküm işlemi yapılır.
- Metal katılaştınca manuel veya pnömatik titreşimli bir çekiç yardımıyla kalıp kırılır. Döküm ağacından koparılan parçalara, tesviye ve cila işlemleri yapılarak döküm sonrası kullanıma hazır hale getirilirler.

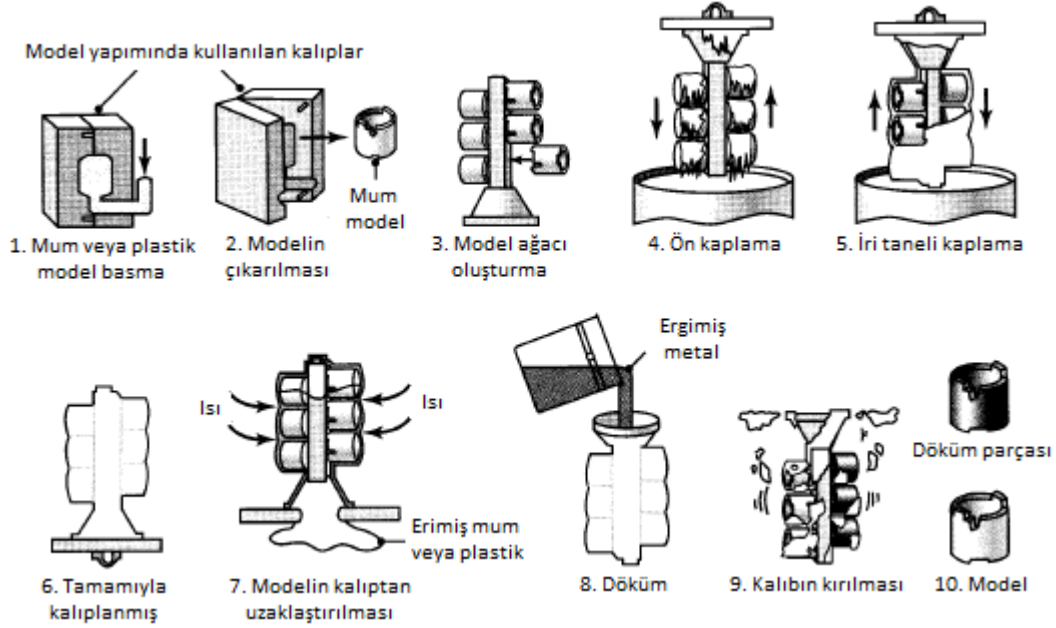
Şekil 2.8’de seramik kalıba döküm işlemi ve döküm parçasının elde edilmesi gösterilmiştir.





Şekil 2. 8 Seramik kalıba döküm a. Erimiş metalin dökümü b. Seramik kalıbın kırılması c. İmal edilen döküm parça [28]

Şekil 2. 9’da, seramik kabuklu döküm yönteminin şeması bulunmaktadır.



Şekil 2. 9 Seramik kabuklu döküm yönteminin işlem kademeleri [23]

## 2.8 Kayıp Mum Tekniğinde Kaplayıcı Malzemeler

Dereceli döküm yönteminde, derece ile model ağacı arasındaki tüm boşluklara dökülen; seramik kabuklu döküm yönteminde model salkımının kendisine kaplanan, içerisindeki model malzemesinin uzaklaştırıldıktan sonra döküm alaşımının döküldüğü kalıbı oluşturan kaplayıcı malzemelerdir.

Hassas döküm kaplayıcı malzemeleri, bağlayıcı cinsine göre birbirinden ayrılmaktadır. Bağlayıcı cinsine göre döküm sıcaklığı ile dökülebilecek metal ve alaşımlar farklılık göstermektedir. Döküm sıcaklıklarına göre kaplayıcı malzemelerini düşük ve yüksek sıcaklık grubu malzemeler olarak ikiye ayırmak mümkündür:

Düşük sıcaklık kaplayıcı malzemeleri 1200°C'den düşük sıcaklıkta, alçı bağlı malzemelerdir. Bu malzemeler diğer alaşımlara göre düşük ergime sıcaklığına sahip; altın, gümüş, bronz, pirinç, alüminyum gibi demir dışı metal ve alaşımların dökümünde kullanılmaktadır.

Alçı 1200 °C'nin üzerinde parçalanmaya başladığı için daha yüksek döküm sıcaklıkları için farklı bağlayıcılar içeren kaplayıcı malzemeleri tercih edilmektedir. Nikel-krom alaşımları, platin ve demir esaslı alaşımlar için genellikle fosfat bağlı kalıp malzemeleri kullanılmaktadır.

Daha önce de anlatıldığı gibi dereceli döküm kalıpları; kaplayıcı malzemelerin su ile karıştırılması, oluşan çamurun model ağacı çevresine yerleştirilmiş metal silindirik derece içerisine doldurulması ve bu çamurun sertleşmesi ile yapılmaktadır. Model ağacı içerisinde bir kalıp kesiti Şekil 2.10'da görülmektedir.



Şekil 2. 10 Dereceli hassas döküm kalıbı kesiti [26]

### 2.8.1 Alçı

Alçının elde edilmesinde kullanılan temel hammadde alçı taşıdır. Doğada jips, anhidrit olarak rastlanılan  $Ca^{+2}$  ve  $SO_4^{-2}$  iyonlarının bileşiminden oluşur ve oluşum ortamına göre içeriğinde su bulunur [29].

Alçı taşı değişik yerlerde değişik saflıkta yataklanmış doğal oluşumlu bir kayadır. Bu kayaç bünyesinde % 20 civarında kimyasal olarak bağlanmış su içerir. Bu öğütülüp ısıtıldığında bünyesindeki suyun yaklaşık  $\frac{3}{4}$ 'ünü kaybeder ve genel adıyla kalsine alçı denilen bir yapıya dönüşür. Kalsine edilmiş olan bu alçı tekrar su ile karıştırıldığında plastik veya akışkan bir kütle halini alır ve isteğe göre kalıplanabilir ya da şekillendirilir. Kalsinasyon sırasında kaybettiği kristal suyunu tekrar kazanması sebebi ile de sertliğini tekrar kazanır. Sonuçta elde edilen kaplayıcının, kayıp mum tekniğinde önem kazanmasının sebebi, diğer doğal minerallerden farklı olarak kullanıcının isteğine ve şartlarına göre gözenek miktarının, absorpsiyon karakteristiğinin ve mukavemetinin değişebilmesidir [30].

Alçı, aşağıdaki özelliklerinden dolayı uygun bir kaplayıcı malzemedir [29]:

- Karmaşık şekilli ürünler üretilebilir.
- Üretilen kalıplar kimyasal ve fiziksel olarak kararludur.
- Her kullanım için su emme miktarı kolayca oluşturulabilir.
- Pürüzsüz ve dayanıklı yüzey kolayca oluşturulabilir.
- Fiziksel ve kimyasal özellikler homojen olarak korunur.
- Gözenekler kolloidler tarafından kolayca kapatılmaz.
- Maliyeti düşüktür.

### 2.8.2 Fosfat Bağlı Malzemeler

Bağlayıcısı magnezya fosfat çimentosu olan bu malzemeler silika, magnezyum oksit ve amonyum fosfat bileşenlerinden oluşmaktadır.

Fosfat bağlı malzemelerin yüksek dayanımlı olması, aşınma dayanımının iyi olmasını da beraberinde getirir. Fosfat bağlı malzemeler, yüksek sıcaklık mukavemetine sahiptir. Ayrıca döküm metali dökülürken nemli durumda kalıbın şeklini muhafaza eder. Su ile

karıştırılıp hamur haline geldikten bir süre sonra yapısındaki suyu kaybederek katılaşması yani pirizlenmesi de hızlıdır [31].

## **2.9 Kayıp Mum Tekniğinde Kullanılan Kalıplar**

Kayıp mum tekniğiyle seri dökümde kullanılacak modeller, kalıplar yardımıyla üretilir. Bu yöntemde genel olarak kauçuk, silikon ve metal kalıplar kullanılmaktadır.

### **2.9.1 Kauçuk Kalıplar**

Kauçuk kalıplar; dayanıklıdır ve aşınmaya karşı dirençlidir. Ayrıca genleşme oranı düşük olduğundan tercih edilir. Kauçuk kalıplarda dikkat edilecek nokta, güneş ışığından ya da nemli ortamlardan dolayı yapılarının zamanla bozulmasıdır. Bu nedenle kalıp oluşturma sırasında aynı modelden birkaç kauçuk kalıp yapılabilir.

### **2.9.2 Silikon Kalıplar**

Silikon kalıplar da tercih edilen bir kalıp çeşidi olup; dayanımı düşük, ancak ince detayları kopyalama kabiliyeti daha yüksektir.

### **2.9.3 Metal Kalıplar**

Kayıp mum tekniğinde kullanılan metal kalıplar, genelde alüminyum malzemenin üretilir. Enjeksiyon işlemi ile elde edilen modeller, silikon kalıplara göre daha kalitelidir. Ayrıca enjeksiyon sonrası malzemenin kalıp içerisinde çabuk katılaşması, süre açısından avantajlıdır. Metal kalıplarda dikkat edilecek nokta, model malzemesinin kalıp içerisine enjekte edilmesi sırasında, kalıp yüzeylerinde ani donması sonucu oluşabilecek hatalardır.

## **2.10 Kayıp Mum Tekniğinde Model Malzemeleri**

Kayıp mum tekniğinde model üretimi, prosesin geneli için büyük bir öneme sahiptir. Bu nedenle model malzemesi seçimi de doğru bir şekilde yapılmalıdır [32].

Karmaşık, ince detaylı ve üniform dökümlerin yapılabilmesi; kompleks, üniform ve boyutsal olarak kararlı modellerin üretilmesine bağlıdır. Ayrıca seçilen model malzemesi, kullanılacak olan kalıp malzemesini de belirler [32].

Model malzemesi seçiminde, teknik ve ekonomik olarak dikkate alınması gereken bazı hususlar vardır. Teknik olarak bakıldığında; kullanılacak model malzemesinin, basınç altında kalıp boşluğunun doldurulmasına imkan verecek viskozite değerinde olması, ayrıca belirli bir sıcaklık aralığında eriyerek kalıp içerisinden akabilmesi gerekmektedir. Ekonomik olarak bakıldığında ise; kullanılacak model malzemesinin, birim maliyetinin minimum seviyede olması, ayrıca kolay bulunabilir olması gerekmektedir [33].

Model malzemeleri; plastik modeller, plastik-mum karışımı modeller, cıva modeller ve mum modeller olarak söylenebilir.

Bu model malzemeleri haricinde, Wood alaşımı (Sn %12,5, Pb %25, Bi %50, Cd %12,5 EN= 65,6 °C) gibi düşük erime noktalı metalik alaşımlar ve Sodyum asetat-Sodyum karbonat (70:30) gibi erimiş tuz karışımları da model malzemesi olarak kullanılmaktadır.

### **2.10.1 Plastik Modeller**

Plastik model malzemeleri, kalıplanmaları için gereken sıcaklık ve basınç parametreleri bakımından mumlardan farklıdır. Modellerde en çok kullanılan plastik malzeme polistirendir. Ayrıca birçok amaç için polietilen, vinil klorit, naylon ve asetat da kullanılmaktadır. Plastik modellerin doğrudan kullanımı, çoğu zaman pek ekonomik olmamaktadır. Bu nedenle genellikle plastik-mum karışımı modeller kullanılır [32].

Plastik model malzemelerinden beklenen özellikler; yeterli dayanıklılık, üniform bir yüzey eldesi ve tortu bırakmadan kalıptan uzaklaşma kabiliyetidir [33].

Plastik, model malzemesi olarak kullanılmasına karşın, pek tercih edilmemektedir. Nedenlerine bakılacak olursa [32];

- Plastik modeller uzaklaştırılırken; kalıpları, kullanılan diğer modellere göre, daha fazla çarpılmaya uğratır. Bu nedenle modeller kalıptan uzaklaştırılırken, bu çarpılmaları minimuma indirmek için mecburen soğutma suyu kullanılır.

- Plastik modeller yakıldığı için, yeniden kullanımı mümkün olmamaktadır. Bu nedenle maliyeti yükseltir.
- Plastik modellerde, kaplama malzemesi ince detayları ve keskin köşeli yerleri yeterince dolduramamaktadır. Bu nedenle döküm, istenilen boyutsal hassasiyette yapılamamaktadır.

### **2.10.2 Plastik-Mum Karışımı Modeller**

Plastik ve mum modellerin her biri, diğerinde bulunmayan avantajlara sahiptir. Ayrıca daha büyük ve karmaşık parçaların üretilmesinde, karışım modellerin kullanılması ihtiyacı doğmuştur [32].

Mum, kendini çekip istenmeyen boşluklar oluşturabilir. Plastik burada, mumun kendini çekmesini engeller. Böylelikle model, kalıp içinde üniform bir yapıda olur. Plastik ve mum karışımı modeller, ayrıca kontrollü bir ısı transferi de sağlar [32].

### **2.10.3 Cıva Modeller**

Dondurulmuş cıva model malzemesi, kullanım açısından ideal bir malzemedir. Yapısından ötürü termal ve mekanik özellikler açısından bünyesinde gerekli en ideal özellikleri taşımaktadır. Yüksek geri kazanılma özelliği, kendini çekmesinin azlığı ön plandadır. Buna karşın; model malzemesi olarak cıvanın pek fazla tercih edilmemesi, temelde maliyet yüzündendir. Her yeni iş için yapılan kalıplama ve metalin kullanımını sağlayacak maliyet oldukça yüksektir [32].

### **2.10.4 Mum Modeller**

Mumlar karbon, hidrojen ve oksijenin organik bileşenlerinden oluşur. Doğal mumlara Carnauba mumu örnek olarak verilebilir. Mumlar genellikle daha sert ve kırılıgandır [24].

Tarihsel olarak, mum bilinen en eski termoplastik malzemedir. Sıvı, yarı-sıvı veya plastik fazında oluşturulabildiği için, tarihi estetik sanatlar ve el sanatları ile çok ilişkilidir. Model mumların temeli balmumudur. Buna karşın eskiden mumlar, istenilen özelliklere

göre, mumu sertleştirmek için doğal reçine ile değiştirilip veya mumu yumuşatmak için süzölmüş yağ ile kullanılmaktaydı [14].

Günümüzde mum karışımları; doğal hidrokarbon mumu, doğal ester mumu, sentetik mum, doğal ve sentetik reçineler, organik katkı malzemeleri ve su gibi bileşenler içeren karmaşık bir yapıdadır. Bu bileşenlerin, üretimde çeşitli özellikleri ve ihtiyaçları karşılamak için birçok varyasyonu yapılmaktadır. Yapılan kombinasyonlarla ve malzeme oranlarının değiştirilmesiyle; ergime noktası, viskozite, genleşme, katılma hızı, sertlik gibi özellikler istenilen hale getirilebilir [9].

Mumun, kayıp mum tekniğinde model malzemesi olarak kullanılabilmesi için şu özelliklere sahip olması gerekir [32]:

- Yeterli sertlik ve elastikiyette olmalıdır.
- Maksimum oranda yeniden kullanılabilir olmalıdır.
- Katılma esnasında en az şekilde kendini çekme özelliği ve gerilim oluşumu göstermelidir.
- Yapısındaki kül içeriği düşük olmalıdır.
- İyi bir yüzey kalitesine sahip olmalıdır.
- Isıtmadan akışın yumuşama noktasına kadar minimum genleşme katsayısına sahip olmalıdır.
- Sıvı durumda enjeksiyona izin verebilmesi için katılma aralığı geniş olmalıdır.
- Mum modelin kalıptan çıkartılmasında ve kullanım için depolanması esnasında maksimum boyutsal kararlılığa sahip olmalıdır.
- Malzeme maliyeti düşük ve kolay bulunabilir olmalıdır.

Kayıp mum tekniğinde mumlar genel olarak; doğal ester mumları, doğal hidrokarbon mumları ve sentetik mumlar olmak üzere üç kategoride incelenebilir:

#### **2.10.4.1 Doğal Ester Mumları**

Doğal ester mumları, kararsız özelliklere ve yüksek kül içeriğine sahiptir. Ayrıca maliyetlerinin oldukça yüksek olması nedeniyle nadiren, az miktarda kullanılır. Kullanım amacı, modelin sertliğini artırmak ve mum soğuduğunda katılma işlemini hızlandırmaktır [9].

#### **2.10.4.2 Doğal Hidrokarbon Mumları**

En çok kullanılan doğal hidrokarbon mumları, ham petrolden türetilenlerdir. Bu mumlar; parafin mumları, ara mumlar ve mikro kristalli mumlar olarak alt gruplara ayrılabilir [32]:

- Parafin mumları, genellikle düşük kaynama noktasına sahip yağlama yağlarından, vakumda arıtma prosesi yardımıyla üretilir. Maliyetlerinin düşük olması ve kolay bulunabilmesi nedeniyle parafin mumları sıkça kullanılır. Buna karşın; kırılğan olmaları ve kendini çekme özelliklerinin fazla olmasından dolayı uygulama alanları sınırlandırılmıştır [32].
- Ara mumlar, yarı mikro-kristalli mumlar olarak da adlandırılmaktadır. Yüksek kaynama noktasına sahip yağlama yağlarından, vakumda arıtma prosesi yardımıyla üretilir. Genellikle saydam ve sert olup, parafin mumlarına göre daha ince taneli kristal yapıdadır ve daha az kırılğandır [32].
- Mikro kristalli mumlar, yağlama yağının çökeltisinden, yüksek vakumda arıtma sonucu elde edilir. Parafin mumlarına göre daha fazla molekül ağırlığı vardır. Bu tür mumlar saydamdır ve ince taneli kristal yapısına sahiptir [32].

#### **2.10.4.3 Sentetik Mumlar**

Sentetik mumlar, doğal ester veya doğal hidrokarbon mumlarının yapay türevleridir. polietilen mumlar, okside edilmiş mumlar, polietilen glikol mumlar örnek verilebilir [32].

#### **2.11 Kayıp Mum Tekniğinde İşlem Adımları**

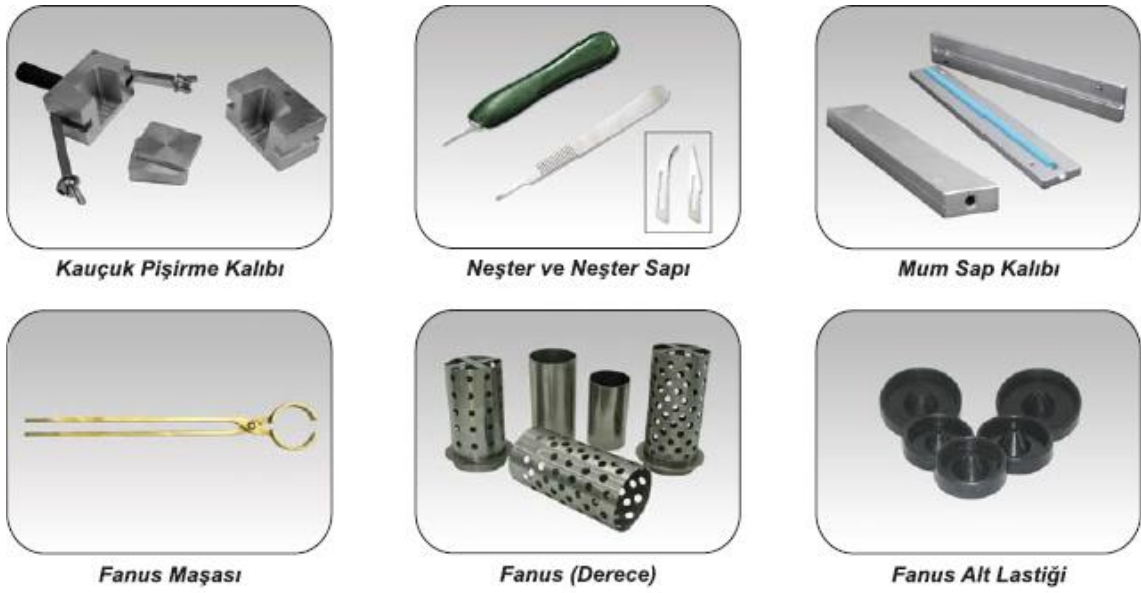
Kayıp mum tekniğinde işlem adımları aşağıda belirtilmiştir:

- Ana model yapımı
- Kauçuk kalıp yapımı
- Mum modellerin oluşturulması
- Model ağacının oluşturulması
- Model ağacının derece içine alınması
- Derecenin alçılanması



- Alçıdan mum indirme
- Alçı kalıbın pişirilmesi
- Döküm
- Alçının temizlenmesi
- Dökümün tesviye ve cilası

Bu işlem adımlarının gerçekleştirilmesinde kullanılan araçlar Şekil 2.11'de gösterilmiştir.



Şekil 2. 11 Kayıp mum tekniğinde kullanılan araçlar [8]

### 2.11.1 Ana Model Yapımı

Kayıp mum tekniğiyle dökümde kullanılacak mum modeller, bir kauçuk kalıp yardımıyla üretilir. Bu kalıbın yapımı için ise öncelikle bir ana modele ihtiyaç vardır. Ana model yapımı için; dökülecek metalin yüzey kalitesi, ana modelin özellikleri ve bulunabilirliği gibi, ihtiyaca göre farklı malzemeler kullanılır. Bu malzemeler, daha önceki konuda anlatıldığı gibi; plastik modeller, plastik-mum karışımı modeller, cıva modeller, düşük erime noktalı metalik alaşım modelleri, erimiş tuz karışımı modeller ve mum modellerdir [8].

### 2.11.2 Kauçuk Kalıp Yapımı

Kauçuk malzemesi, botanik kökenli bir malzeme olup, doğal halde kullanışlı değildir. Katkı malzemeleri kullanılarak, vulkanizasyon (pişirme) işleminden sonra kauçuk özelliklerini kazanır. Bu özellikler ham kauçuğa sertlik; ısıya, aşınmaya ve kimyasal maddelere karşı dayanım ve elastikiyet özelliğini kazandırır ve kullanıma hazır hale getirir [34].

En ideal kauçuk, bozulmalar meydana gelmeden maksimum sayıda model üretimi sağlayan kauçuktur. Kauçuk, üzerine tozdan korumak amacı ile konulmuş parlak kağıt ile kaplı ince levhalar halinde satın alınır.

#### 2.11.2.1 Kauçuk Kalıp Yapımında Kullanılan Araçlar

Kauçuk kalıp yapımında; kauçuk malzemeleri, pişirme dereceleri ve merkezleme malzemeleri kullanılır. Bu malzemelere yakından bakılırsa;

- Kauçuk malzemeleri, ana modelin etrafını sararak vulkanizasyon işlemi sonrasında mum model için kalıp boşluğunu oluşturmada kullanılan malzemelerdir (Şekil 2.12).



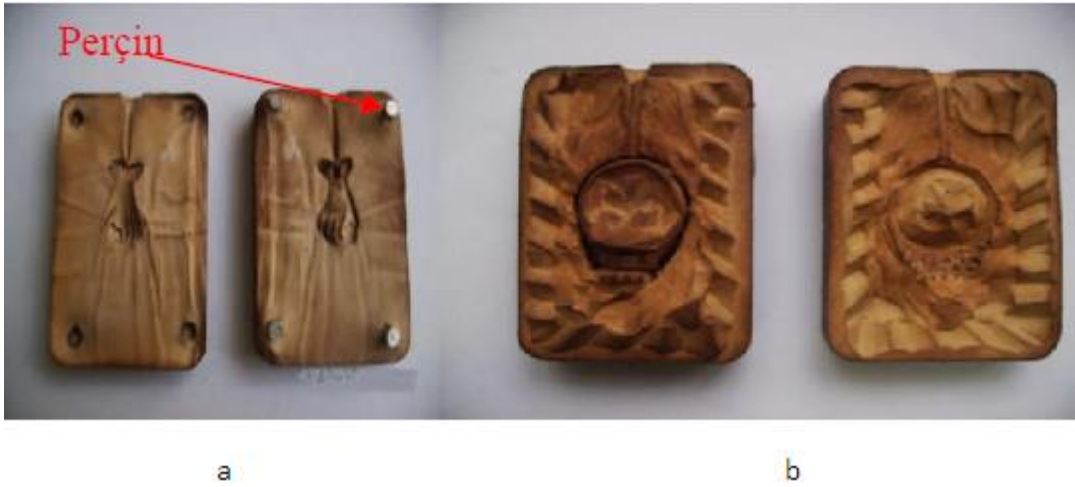
Şekil 2. 12 Kayıp mum tekniğinde kullanılan ince levha şeklindeki kauçuk [34]

- Pişirme dereceleri, vulkanizasyon işleminde kauçuğun dağılmaması ve şeklinin bozulmaması için kullanılan dikdörtgen, kare veya daire biçimindeki kalıp çerçeveleridir (Şekil 2.13).



Şekil 2. 13 Pişirme dereceleri [34]

- Mum modelin düzgün bir şekilde basılabilmesi için kauçuk kalıbın her iki yüzü de merkezlenmelidir. Kauçuk kalıbın merkezlenmesi, perçinleme yöntemi veya kesim yöntemi ile yapılabilmektedir (Şekil 2.14).

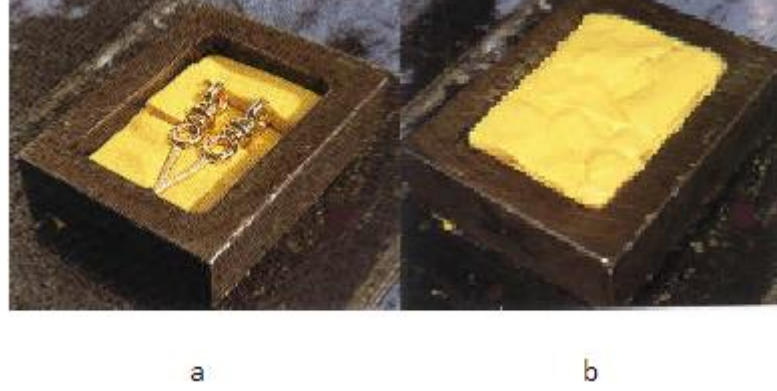


Şekil 2. 14 a. Perçinleme yöntemi ile b. Kesim yöntemi ile merkezleme [34]

### 2.11.2.2 Kauçuğun Pişirilmesi (Vulkanizasyon)

Kauçuğun pişirilmesi için, pişirme derecesine ilk kauçuk tabakalar yerleştirilir. Model kalınlığına göre kauçuk tabaka sayısı belirlenir. Ana model, her yönden kauçuk kalıbın ortasına gelecek şekilde olmalıdır. Kalıbın ortasına gelecek şekilde yerleştirilen modelin boşlukları parça kauçukla doldurulur. Perçinleme yöntemi ile merkezleme yapılacaksa,

perçin yerlerinin boş çıkması için çelik iğneler yerleştirilir. Son olarak da üst kauçuk plakalar yerleştirilir ve pişirme işlemine geçilir (Şekil 2.15).



Şekil 2. 15 a. Ana modelin kauçuk kalıba yerleştirilmesi b. Pişirmeye hazır kauçuk kalıp [34]

Hazırlanan kauçuk kalıp, vulkanizatöre (pişirici) yerleştirilir. Kapaklar elle veya pnömatik olarak sıkıca kapatılır ve vulkanizatör çalıştırılır. Her kauçuk plakası için yaklaşık 150 °C'de ve 7,5 dakika süreyle pişirilir (Şekil 2.16).



Şekil 2. 16 Kauçuk pişirmede kullanılan vulkanizatör [8]

Piştirme işlemi sonunda kauçuk, piştirme derecesinden çıkarılır ve oda sıcaklığında soğumaya bırakılır. Daha sonra neşterle kesilerek veya perçin noktalarından ayrılarak ikiye ayrılır.

Şekil 2.17’de kauçuk kalıp yapımı özetlenmiştir.



Şekil 2. 17 Kauçuk kalıp yapımı [8]

### 2.11.3 Mum Modellerin Oluşturulması

Model oluşturma, kayıp mum tekniğinde önemli bir adımdır. Çünkü modelde yüzey hataları, dökümde de hata olarak ortaya çıkacaktır. Mum model ne kadar özenli ve tasarıma ne kadar yakın yapılırsa, dökümden çıkan parçaya da o denli az tesviye ve cila işçilikleri gerekir.

Kauçuk kalıp, pişirildikten sonra ikiye ayrılarak içerisinden ana model çıkarılır. Böylelikle mum model basma işlemi için hazır olmuş olur (Şekil 2.18).



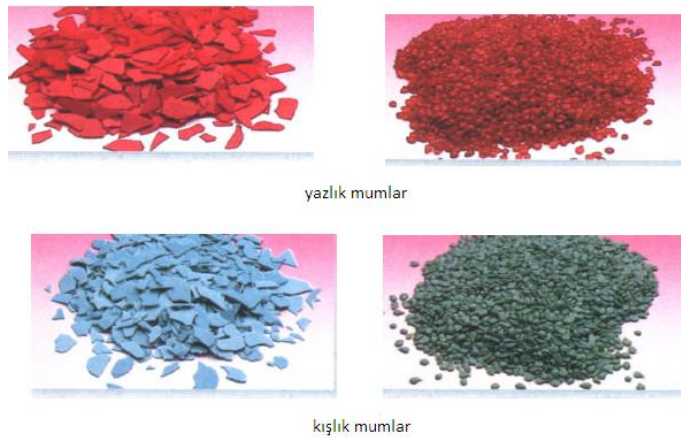
Şekil 2. 18 Kauçuk kalıbın kesim işlemi ve ana modelin çıkarılması [34]

Mum enjeksiyon makineleri modeli oluşturmak için, mumu alıp kalıba iten makinelerdir. zerinde sıcaklık göstergesi, basınc göstergesi, sıcaklık ayar düğmesi, basınc pompası, mum çıkış memesi, st emniyet vidası ve uyarı işiği yer alır (şekil 2.19).



şekil 2. 19 Mum enjeksiyon kazanı [35]

Modellerinin hazırlanmasında kullanılacak olan mum, genellikle parafin esaslıdır. Yazlık ve kışlık olacak şekilde, erime sıcaklıkları ve renkleri farklı olarak üretilir. şekil 2.20’de yazlık ve kışlık mum örnekleri verilmiştir.



şekil 2. 20 Mum enjeksiyonunda kullanılan mumlar [35]

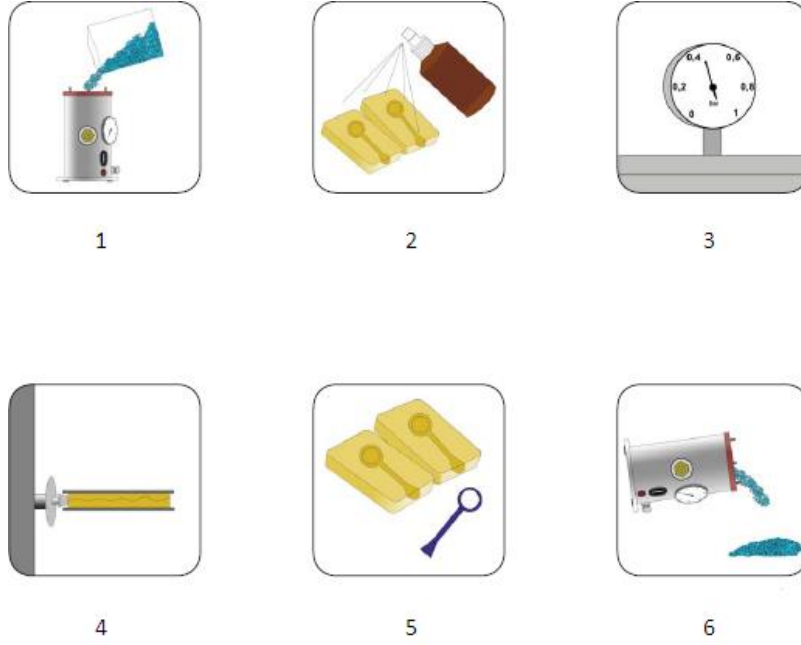
Mum modellerin oluşturulması için şu işlemler yapılır:

- Mum enjeksiyon kazanı içindeki mum miktarı kontrol edilir. Kazanın içerisinde mum miktarı yeterli ise kapak kapatılır.
- Kazan sıcaklığı kullanılan mumun özelliklerine göre (yazlık mum için 70-75 °C, kışlık mum için ise 75-80 °C arası) ayarlanır. Mumlar hiçbir zaman aşırı ısıtılmamalıdır. Aksi takdirde bazı bileşenleri okside olabilir, mumu gevrek hale getirebilir veya enjeksiyon özelliklerini ve boyutlarını etkileyebilir.
- Mum basma işlemi sırasında mumun kalıba yapışması gibi bir sorunla karşılaşmamak için arada bir kauçuk kalıbın iç yüzlerine ayırıcı sprey ya da talk pudrası uygulanır.
- Kazan içinde basınç oluşması için hava pompalanır. Kazan içindeki basıncın 1 bar'ın altında tutulması idealdir.
- Mum kazanının en önemli kısımları dışarıdan kumanda edilen ağız (enjektör) kısmıdır. Mum sıvı haldeyken çalışır, ağza baskı uygulandığında geriye doğru hareketle sıvı mumla irtibatı sağlayan kanal açılır. İçeride mevcut olan basınç, mumu dışarıya iter. Mum, enjektörün ağzındaki baskı sürdükçe akar, bu akma anında kalıp içindeki boşluk mumla dolup, kısa sürede katılarak kalıp içerisinden çıkartılır. Böylelikle iş parçasının birden fazla kopyası ağaçlama işlemi için hazırlanmış olur (Şekil 2.21).



Şekil 2. 21 a. Mum kazanından kauçuk kalıba mum enjekte edilmesi b. Hazırlanan mum modeller [35]

Şekil 2.22’de mum modellerin oluşturulması özetlenmiştir.

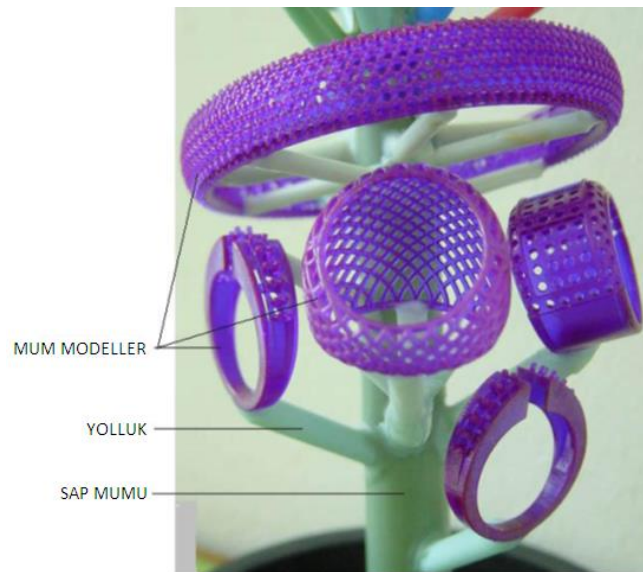


Şekil 2. 22 Mum modellerin oluşturulması [8]

#### 2.11.4 Model Ağacının Oluşturulması

Mum enjeksiyonu ile elde edilen modeller bir defada döküm yapılabilmesi için, oluşturulan ana yolluğa eritilerek veya kaynakla monte edilir. Yani bu modellerin yolluklarını birer dal gibi düşünerek mumdan bir ağaç yapılır.

Model ağacı; mum modeller, yolluklar ve sap mumundan meydana gelir (Şekil 2.23).



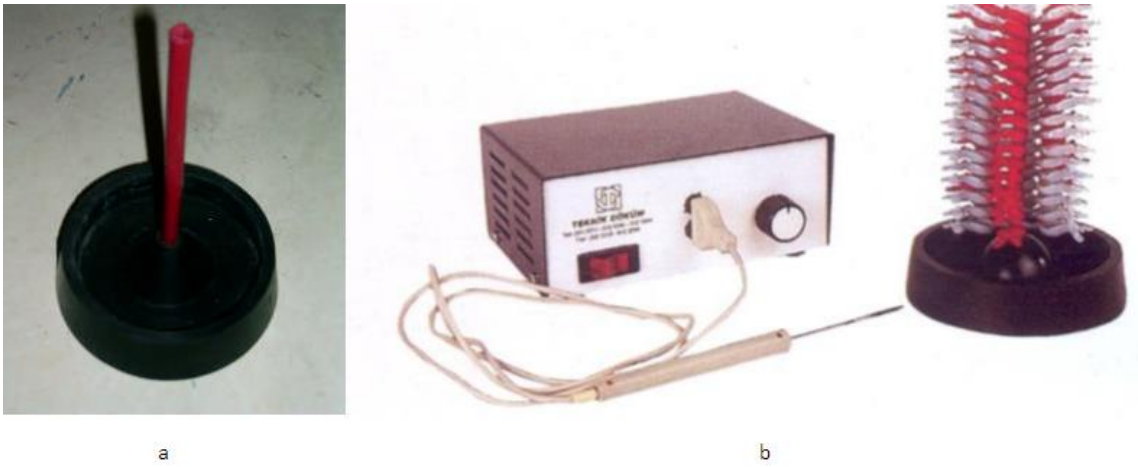
Şekil 2. 23 Model ağacının kısımları [36]



Model ağacının oluşturulmasında yolluk sistemi şu nedenlerle gereklidir:

- Mum modelin istenen döküm konumunda ağaç gövdesine oturması
- Mumun döküm kalıbından dışarı atılması için kanal bırakılması
- Ergimiş metalin döküm kalıbına girmesi için geçiş yolu sağlanması

Model ağacını oluşturmak için üç temel malzeme gereklidir. Bu malzemeler; ağaç gövdesi işlevi gören sap mumu, yollukları ısıtıp sap mumuna birleştirmeye yarayan mum havyası ve hem ağaca hem de model alçılanırken alçıyı kavrayan fanusa, kaide görevi gören derece alt lastiğidir (Şekil 2.24).



Şekil 2. 24 a. Sap mumunun derece alt lastiği üzerindeki hazır hali b. Mum havyası [35]

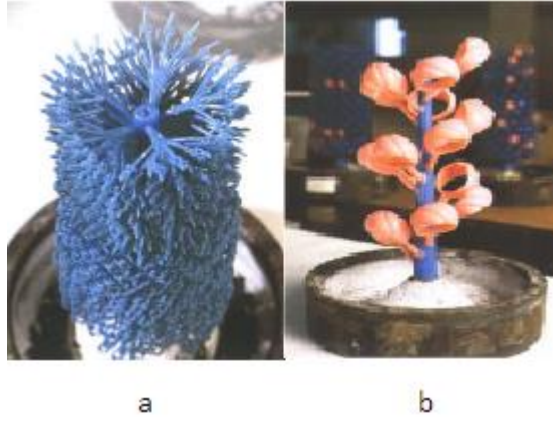
Mum modelleri ağaca dizerken, dökülecek parçanın boyutuna göre iki farklı dizim biçimi kullanılır. Bu biçimler çam biçimi dizim ve spiral dizimdir (Şekil 2.25) [35].

#### 2.11.4.1 Çam Biçimi Dizim

Döküm parçası kapasitesi 300 gram ya da daha fazla olduğunda modeller bir ağaç şeklinde yerleştirilir.

#### 2.11.4.2 Spiral Dizim

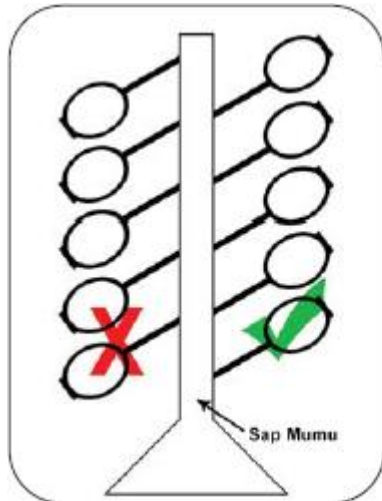
Büyük boyutlu modellerin dökümünde kullanılır. Yeterli beslenmenin gerçekleşmesi için modeller, ana yolluk üzerine bir spiral oluşturacak şekilde yerleştirilir.



Şekil 2. 25 a. Çam biçimi dizim b. Spiral dizim [35]

Model ağacı oluşturulurken dikkat edilecek noktalar şunlardır:

- Mümkün olduğu kadar benzer şekilde, boyutta ve ağırlıkta olan modeller aynı ağaca dizilmelidir. İnce ve kalın modeller aynı model ağacına yerleştirilmemelidir. Boyut farklılığı, dökümde istenilen parçaların iyi çıkmasına neden olabilir.
- Farklı boyuttaki ve ayrıntıdaki modeller ağaca diziliyorsa, mumun sağlıklı bir şekilde uzaklaştırılması için ayrıntılı modeller uca yakın, orta büyüklükteki modeller ortaya ve daha hacimli ürünler kalıbın alt kısmına yerleştirilir.
- Mum modellerin ana yolluğa 10–20 derecelik bir açıyla dizilmesi gerekir. Bunun nedeni, alçılı derece içerisinde mum indiriminin kolayca yapılabilmesi ve ergimiş metalin kalıp içine rahatça akışının sağlanabilmesidir (Şekil 2.26).

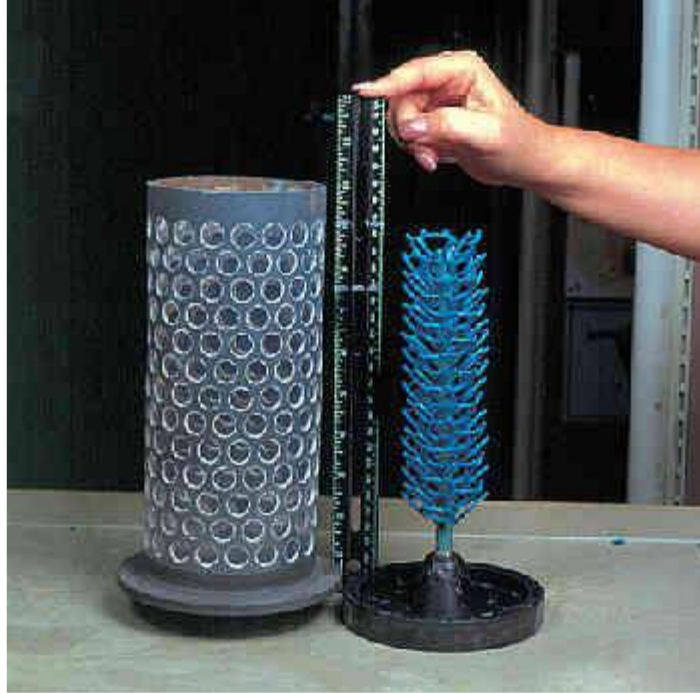


Şekil 2. 26 Mum modellerin sap mumu üzerindeki konumu ve sap mumuna havaya ile dizilmesi [8]

- Dzenleme aşırı kalabalık olmamalıdır. Bu sadece yerleştirmeyi zorlaştırmakla kalmaz, ayrıca mum giderme sonrasında bir boşluk ile diğeri arasındaki duvarlar inceyse bu yerleştirme büyük olasılıkla çöker.
- Ana yolluk yapımında model mumlarına göre daha düşük erime noktalı bir mum kullanılması daha uygundur. Bu şekilde mum almada ana yolluk ilk olarak erir ve model mumları erimeye başladığında kalıp içerisinde gerilme oluşumu engellenir.

#### 2.11.5 Model Ağacının Derece İçine Alınması

Derece, model ağacına dikkatle takılmalı, modeli tam ortalamalıdır. Yanlardan ve üstlerden boşluk bırakılmalıdır (Şekil 2.27) [8].



Şekil 2. 27 Model ağacı ve derece [35]

#### 2.11.6 Derecenin Alçılanması

Model ağacı derece içerisine alındıktan sonra alçılama işlemine geçilir. Modeli çepeçevre sararak kalıbı oluşturacak kaplayıcı malzeme, ısıya dayanıklı özel bir döküm alçısıdır. Alçılama işleminde iki tür alçı kullanılır [35]:

### 2.11.6.1 Silis Bağlı Kalsiyum Sülfat Alçı

Silis bağlı kalsiyum sülfat alçı; çeşitli katkılarla, renkli altın alaşımları ve gümüş dökümünde yaygın olarak kullanılır. Ayrıca kalsiyum sülfat, yaklaşık 1000 °C'de ayrıştığından yüksek ergime sıcaklığına sahip alaşımlar için kullanılmaz.

### 2.11.6.2 Fosfat Bağlı Alçı

Fosfat bağlı alçı, nikelli beyaz altın gibi yüksek ergime sıcaklığına sahip alaşımlar için kullanılır. Bu alçı türü kolay temizlenebilir fakat maliyeti yüksektir.

Derecenin alçılanmasında şu işlemler yapılır [8]:

- Alçı ve su miktarı ölçülerek karıştırma kabına alınır. Burada dikkat edilecek nokta, alçının suya ilave edilmesidir (suyun alçıya değil).
- Su/alçı oranı önerilen miktarda olmalıdır. Derece boyuna ve derece çapına bağlı olarak, önerilen alçı-su miktarı Çizelge 2.2'de verilmiştir.
- Alçı ve su karışımı, elde veya otomatik alçılama makinesinde karıştırılır (Şekil 2.28).



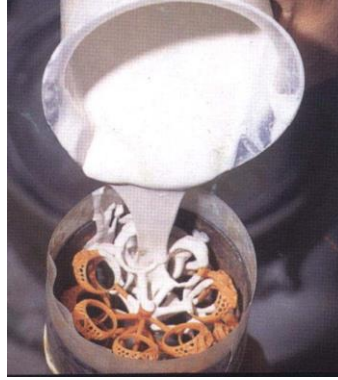
Şekil 2. 28 Alçının elle ve otomatik olarak karıştırılması [35]

- Karıştırılan alçı içerisinde hava boşluğunun kalmaması için karışım vakumlanır. Model yüzeyinde oluşan kabarcıklar, hatalı döküme sebebiyet verebilir. Günümüzde gelişen teknolojiye paralel olarak alçıyı hem karıştırıp hem de aynı anda vakumlayan makineler üretilmiştir (Şekil 2.29).



Şekil 2. 29 Otomatik alçı karıştırma ve vakumlama makinesi [8]

- Karışmış ve vakumlanmış olan alçı, dereceye dökülüp taşma bandı sarılır (Şekil 2.30).



Şekil 2. 30 Alçının dereceye elde dökülmesi [35]

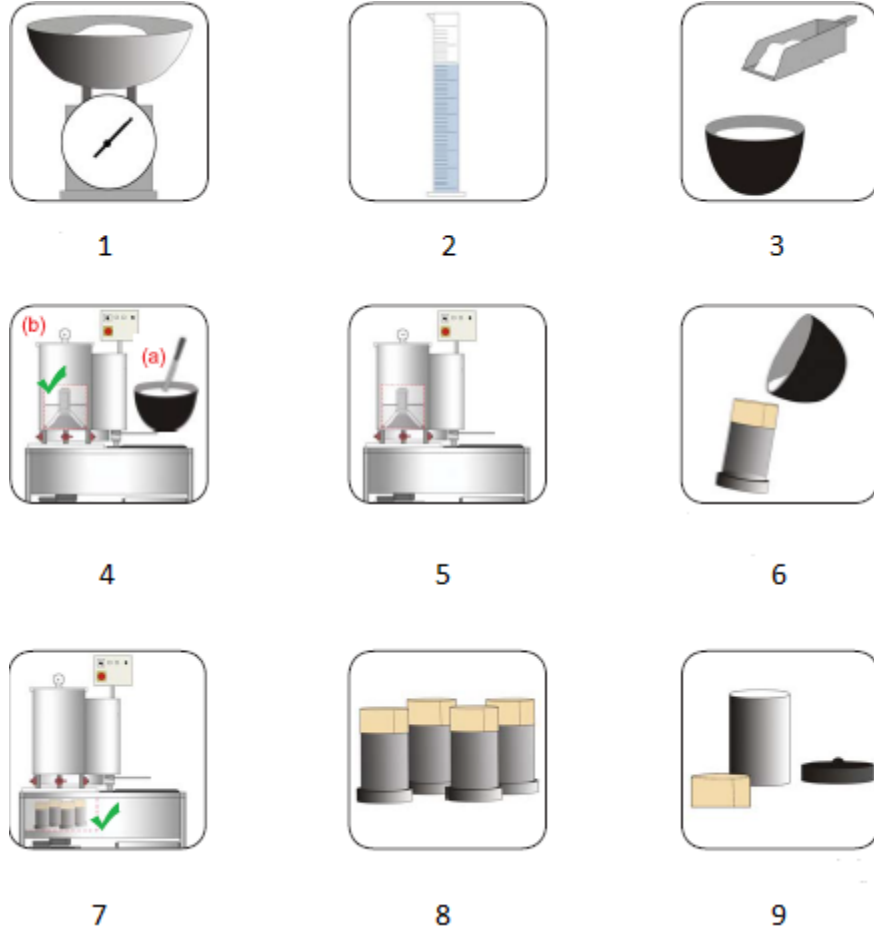
- Dereceye dökülen alçı, dökülme esnasında tekrar hava alacağından yeniden vakum altına alınır.
- Vakumlanmış olan derece iki saat boyunca dinlenmeye bırakılır. Bu süre içinde alçının katılaşması beklenir.
- Derecenin altında bulunan derece alt lastiği ve üstte bulunan taşma bandı sökülür.

Çizelge 2. 2 Alçı-su miktarını gösteren tablo<sup>1</sup> [8]

		Derece Boyu (mm)													
		120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250
Derece Çapı (mm)	70	<b>625</b> 250	<b>675</b> 270	<b>725</b> 290	<b>780</b> 312	<b>830</b> 332	<b>880</b> 352	<b>935</b> 374	<b>985</b> 394	<b>1040</b> 416	<b>1090</b> 436	<b>1145</b> 458	<b>1195</b> 478	<b>1245</b> 498	<b>1300</b> 520
	80	<b>815</b> 326	<b>880</b> 352	<b>950</b> 380	<b>1020</b> 408	<b>1085</b> 434	<b>1150</b> 460	<b>1220</b> 488	<b>1290</b> 516	<b>1355</b> 542	<b>1425</b> 570	<b>1490</b> 596	<b>1560</b> 624	<b>1625</b> 650	<b>1695</b> 678
	85	<b>920</b> 368	<b>995</b> 398	<b>1070</b> 428	<b>1150</b> 460	<b>1225</b> 490	<b>1300</b> 520	<b>1380</b> 552	<b>1455</b> 582	<b>1535</b> 614	<b>1610</b> 644	<b>1685</b> 674	<b>1765</b> 706	<b>1840</b> 736	<b>1915</b> 766
	90	<b>1030</b> 412	<b>1115</b> 446	<b>1200</b> 480	<b>1290</b> 516	<b>1375</b> 550	<b>1460</b> 584	<b>1545</b> 618	<b>1630</b> 652	<b>1715</b> 686	<b>1805</b> 722	<b>1890</b> 756	<b>1975</b> 790	<b>2060</b> 824	<b>2145</b> 858
	100	<b>1270</b> 508	<b>1380</b> 552	<b>1485</b> 594	<b>1590</b> 636	<b>1695</b> 678	<b>1800</b> 720	<b>1910</b> 764	<b>2015</b> 806	<b>2120</b> 848	<b>2230</b> 892	<b>2335</b> 934	<b>2440</b> 976	<b>2545</b> 1018	<b>2655</b> 1062
	110	<b>1540</b> 616	<b>1665</b> 666	<b>1795</b> 718	<b>1925</b> 770	<b>2050</b> 820	<b>2180</b> 872	<b>2340</b> 936	<b>2470</b> 988	<b>2600</b> 1040	<b>2730</b> 1092	<b>2860</b> 1144	<b>2990</b> 1196	<b>3120</b> 1248	<b>3250</b> 1300
	120	<b>1830</b> 732	<b>1985</b> 794	<b>2135</b> 854	<b>2290</b> 916	<b>2440</b> 976	<b>2595</b> 1038	<b>2745</b> 1098	<b>2898</b> 1160	<b>3050</b> 1220	<b>3200</b> 1280	<b>3355</b> 1342	<b>3510</b> 1404	<b>3660</b> 1464	<b>3815</b> 1526
	125	<b>1985</b> 794	<b>2155</b> 862	<b>2315</b> 926	<b>2485</b> 994	<b>2650</b> 1060	<b>2815</b> 1126	<b>2980</b> 1192	<b>3145</b> 1258	<b>3310</b> 1324	<b>3470</b> 1388	<b>3640</b> 1456	<b>3810</b> 1524	<b>3970</b> 1588	<b>4140</b> 1656

Şekil 2.31’de derecenin alçılanma işlemi özetlenmiştir.

<sup>1</sup> Su/Alçı: 40/100; üstteki koyu sayılar alçı miktarını (g), alttaki sayılar su miktarını (cc) gösterir.



Şekil 2. 31 Derecenin alçılanması [8]

### 2.11.7 Alçıdan Mum İndirme

Alçıdan mum indirme işlemi sonraki bölümde detaylı olarak anlatılacaktır.

### 2.11.8 Alçı Kalıbın Pişirilmesi

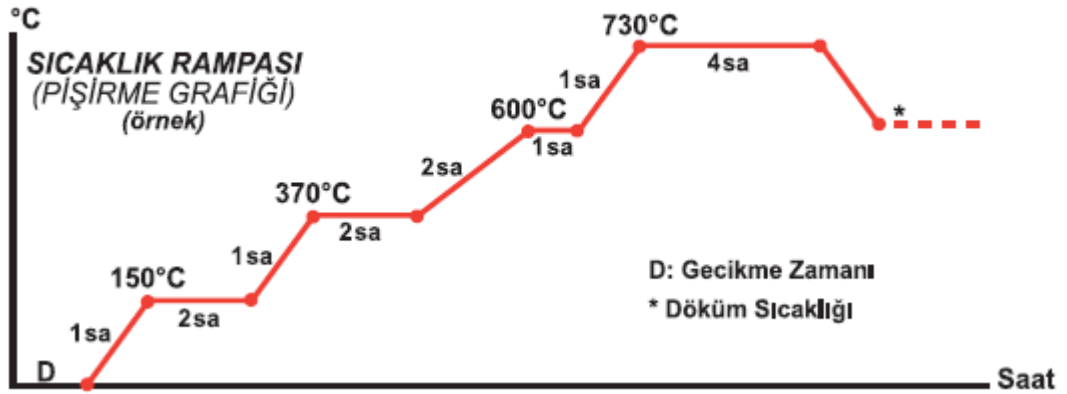
Alçı kalıbın pişirilme işlemi, mumdan kalan son artıkları yakmak ve kalıba döküm esnasında gereken refrakterliği ve karakteristikleri kazandırmak amacıyla yapılan bir işlemdir. Kalıbın son karakteristikleri büyük oranda pişirme çevrimine ve seçilen ısıtma hızı ile bekleme periyotlarındaki sıcaklık homojenizasyonuna bağlıdır. Bu nedenle kalıp malzemesi üreticilerinin, tavsiye ettiği pişirme çevrimine kesin olarak uyulmalıdır.

Alçı kalıbın pişirilmesinde pişirme fırınları kullanılır (Şekil 2.32).



Şekil 2. 32 Alçı pişirme fırını [38]

Şekil 2.33’de üretici firmanın önerdiği, mum indirme alçı pişirme işlem diyagramı görülmektedir. Erime sıcaklığı dökülecek metale göre değişkenlik gösterip, Çizelge 2.3’de verilmiştir. Metalin döküm sıcaklığı ise, metalin erime sıcaklığından 40-65 °C yüksek olmalıdır.



Şekil 2. 33 Mum indirme alçı pişirme işlem diyagramı [8]



Çizelge 2. 3 Bazı metaller için derecenin döküm anında sahip olması gereken sıcaklık [8]

<b>Alaşım</b>	<b>Erime Sıcaklığı (°C)</b>	<b>Metalin Muma Oranı</b>	<b>Derecenin Döküm Anında Sahip Olması Gereken Sıcaklık (°C)</b>
Gümüş (has)	961	10,5/1	430
Gümüş (sterlin)	893	10,5/1	430
Altın 10K (%42) Sarı	907	13/1	510
Altın 14K (%58) Sarı	879	14/1	480
Altın 18K (%75) Sarı	927	16/1	480
Altın 10K (%42) Beyaz	1052	13/1	540
Altın 14K (%58) Beyaz	996	14/1	510
Altın 18K (%75) Beyaz	943	16/1	480
Berilyum Bakır	982	8/1	430
Platin	1773	22/1	870
Alüminyum	649	2,7/1	200
Herculoy	927	9/1	480
Bron-Wite	843	8/1	480
Silikon Bronzu	971	9/1	480
Lehim	307	8/1	Oda Sıcaklığı
Reyat	927	9/1	480

Alçı kalıbın pişirilmesi esnasında şu noktalara dikkat edilmelidir [37]:

- Sıcaklık yavaş yavaş arttırılmalı, çatlaklara neden olacak iç gerilim oluşumu engellenmelidir; aksi takdirde döküm parçalarının uç kısımlarında kalıp çatlamasına bağlı olarak çapaklar oluşacaktır.
- Bekleme sıcaklıklarında, kalıbın tamamında sıcaklığın dengelenmesine yeterli olacak süre beklenmesi çok önemlidir. Çünkü, kalıp malzemesinin ısı iletimini zayıftır. Aynı şekilde, derecelerin pişirme çevrimi sırasında oda sıcaklığına soğumasına müsaade edilmemeli ve sonra yeniden ısıtılmamalıdır. Bu durum çatlak oluşumlarına ve kalite düşüklüğüne neden olacaktır.
- Pişirme fırınında istenen en önemli özellik, fırının homojen bir ısıtma sağlayabilmesidir. Yani, derecenin homojen bir sıcaklığa sahip havayla sarılması ve her yönden eşit şekilde ısıtılmasıdır.

Fırınlarda pişirme işlemi sırasında rezistanslara yakın bölgelerin yanmasını önlemek için döner tablalı fırınlar üretilmiştir. Şekil 2.34'de döner tablalı alçı pişirme fırını görülmektedir.



Şekil 2. 34 Döner tablalı alçı pişirme fırını [37]

### 2.11.9 Döküm

Önceden hazırlanmış olan kalıp boşluğu içerisine sıvı hâldeki metal ya da metal alaşımlarını dökerek yapılan işlem, döküm işlemidir [38].

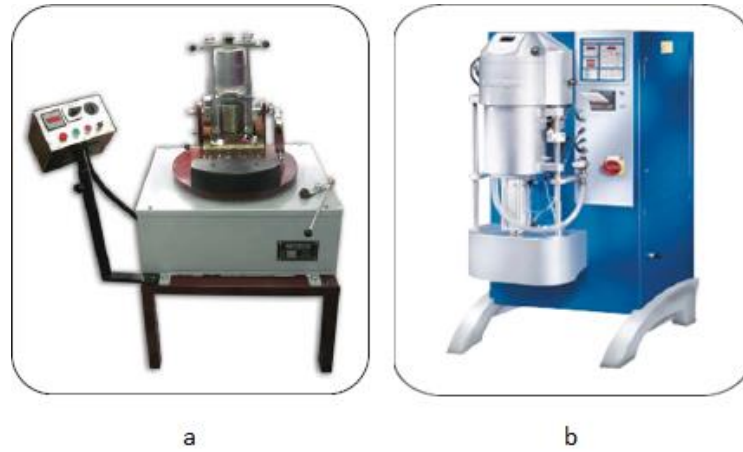
Kayıp mum tekniğinde santrifüj döküm ve vakumlu döküm olmak üzere iki tip döküm işlemi vardır (Şekil 2.35) [38]:

#### 2.11.9.1 Santrifüj Döküm

Önceden hazırlanan alçı kalıba sıvı haldeki metal ya da metal alaşımlarının merkezkaç kuvveti etkisiyle doldurulması yöntemiyle yapılan döküm işlemidir. Santrifüj dökümde döküm işlemi, hızlanma esnasında tamamlanır. Sıvı metal yüksek bir hızla fırlatıldığı için, kalıbın en uç noktasına kadar iletilir.

#### 2.11.9.2 Vakumlu Döküm

Alçılı derece, döküm esnasında hareket etmez. Alçı kalıbın içerisindeki hava, vakum yoluyla emilir. Böylece basınç farkı oluşur. Bu döküm yönteminde basınç farkı sıvı metalin, kalıbın en ince boşluklarına kadar dolmasına yardımcı olur.



Şekil 2. 35 a. Santrifüj döküm b. Vakumlu döküm [38]

Döküm işleminde model için gerekli metal hesaplanırken tartı yöntemi kullanılabilir. Bunun için derecenin ağaçsız hali ve ağaçlanmış hali tartılır. İki tartım arasındaki fark, mum ağacının ağırlığıdır. Bu ağırlık, dökülecek metalin özgül ağırlığı ile çarpılırsa gerekli metal miktarı bulunur. Çizelge 2.4'de örnek döküm metallerinin özgül ağırlıkları verilmiştir [8].

Çizelge 2. 4 Döküm metalleri ve özgül ağırlıkları [8]

Dökülecek metal	Özgül ağırlık (g/cm <sup>3</sup> )
Gümüş	10,5
14 ayar altın	13,4
18 ayar altın	15
22 ayar altın	17

#### 2.11.10 Alçının Temizlenmesi

Döküm sonrasında alçının, döküm ağacından hızlı ve kolay bir şekilde temizlenmesi için su kullanılır. Sıcak haldeki alçı soğuk suyla temas ettiğinde çatlayarak dağılır ve dökümü yapılan alaşım metali üzerinden ayrılır. Alçının temizlenmesi için ayrıca basınçlı suyla temizlik yapan makineler mevcuttur. Şekil 2.36'da otomatik alçı temizleme makineleri görülmektedir [38].



Şekil 2. 36 Alçı temizleme makineleri [38]

Döküm ağacı, alçısından temizlendikten sonra Şekil 2.37'deki gibi bir hal alır.



Şekil 2. 37 Kayıp mum tekniğinde döküm ağaçları [38]

#### 2.11.11 Dökümün Tesviye ve Cilası

Döküm sonrası tesviye işlemleri yapılırken; ürün eğeler yardımıyla düzeltilir, daha sonra cila makinesinde parlatılıp son şekli verilir. Şekil 2.38'de tesviye ve cila işlemleri görülmektedir.



Şekil 2. 38 Dökümün tesviye ve cila işlemi [8]

### MUM İNDİRME PROSESİ

Alçı pişirme işlemi ile birlikte yapılacağı durumda alçılama prosesinden sonra; ya da alçı pişirme işleminden ayrı olarak, esas pişirme işleminden evvel mum indirme işlemi yapılır.

Mum indirme prosesindeki asıl amaç; alçılanmış ve vakumlanmış dereceler içindeki mum modellerin, buhar ya da ısı yardımıyla alçı içerisinden eritilerek alınması ve daha sonra ergimiş alaşım metalinin dökülüp katılaşması için bir kalıp boşluğunun oluşmasıdır [35].

Kuyumculuk sektörüne bakıldığında; mumun hızla kalıptan uzaklaştırılması istendiğinden, genellikle 60-70 °C aralığında eriyen mumlar kullanılır.

#### 3.1 Mum İndirme Yöntemleri

Mum indirme işleminde üç farklı yöntem kullanılır. Bu yöntemler; işlemin bir yakma fırınında gerçekleştirildiği **kuru yöntem**, işlemde buharın kullanıldığı **buharlı yöntem** ve işlemde mikrodalganın kullanıldığı **mikrodalgalı yöntem**dir.

Tercih edilen yöntemlerde dikkat edilmesi gereken bazı unsurlar vardır. Bu unsurlar aşağıda anlatılmıştır [35,39,40]:

- Mum indirme işlemi sırasında ısı kademeli olmalıdır. Ani değişimler su buharının meydana gelmesine ve kalıbın bozulmasına neden olur.
- Alçı pişirme işlemi ile mum indirme işlemi arasında kalıpların soğumasına izin verilmemelidir. Soğuma anında kalıp, ısıl gerilime maruz kalabilir ve dayanımı azalır.

- Mum indirme işleminde kullanılacak fırının tasarımı, mumu alttan uzaklaştırabilecek şekilde olmalıdır. Çünkü mum, yerçekimi etkisi ile aşağıya doğru akar.

### **3.1.1 Kuru Yöntem**

Kuru yöntem; daha önce anlatıldığı gibi, mum indirme prosesinin bir yakma fırınında gerçekleştirildiği yöntemdir. Kuru yöntemde mum indirme işlemi, genellikle alçı pişirme işleminin bir parçası olarak alçı pişirme fırınlarında yapılmaktadır. Bunun haricinde esas pişirme öncesi ayrı bir fırında da mum indirme işlemi yapılabilir.

Bu yöntemde; alçılanmış dereceler, önceden ısıtılmış fırına rezistanslara yakın olacak şekilde yerleştirilir ve mum cinsine göre fırın sıcaklığı kademeli olarak arttırılır. Fırın altındaki mum kanalından mum indirme işlemi gerçekleşir. İşlem bittiğinde derece, bir maşa yardımıyla alınarak sonraki prosese geçilir [35].

Kuru yöntemde; karbonlu kalıntıların fazlalığından kaynaklı alçı yüzeyinde istenmeyen izlerin oluşması, yanan mumların çevreye zararlı atık gazlar oluşturması, ayrıca istenilen yüzey hassasiyetinde problemler oluşturması ve eski bir yöntem olması nedeniyle son zamanlarda bu yöntem yerini buharlı yöntemle bırakmıştır.

### **3.1.2 Buharlı Yöntem**

Buharlı yöntem; mum indirme prosesinde buharın kullanıldığı yöntemdir. Bu yöntemde su ısınıp buhara dönüşür ve buradaki buhar kullanılarak derecenin içindeki mum eritilir. Eritilen mum döküm deliği açıklığından akar (Şekil 3.1) [35].



Şekil 3. 1 Buharlı mum indirme prosesi [40]

Buharlı mum indirme yönteminde başarı kriteri, hızlı ve homojen bir ısıtma sağlamaktır. Bu sebeple, genellikle buhar jeneratörüne sahip etrafı cidarla kaplanmış bir kap içinde doymuş buhar kullanılır (Şekil 3.2).



Şekil 3. 2 Buharlı mum indirme cihazı [8]



Buharlı yöntemin kuru yönteme göre birçok kullanım avantajı vardır. Bunları sıralamak gerekirse [41];

- Buharlı yöntemle mum indirme işleminde mum erimeye, ana yolluk üzerinden başlar, bu sayede işlem süresini kısaltır. Kuru yönteme bakıldığında, mumun alçı içinden eriyip boşaltılabilmesi için fırının belli bir sıcaklığa kadar önceden ısıtılması gerekmektedir. Bu da ayrı bir zaman kaybına yol açar. Sonuç olarak, mum indirme işlemi kuru yönteme göre daha kısa sürede tamamlanır.
- Kuru yöntemde yakma fırını içindeki mumun önemli bir kısmı yanar ve yeniden kullanılamaz hale gelir. Ayrıca alçı kuruduktan sonra, büyük miktarda mum absorbe edebilir. Buharlı yöntemde ise alçı buharla doyduğu için mumun yüzey gerilimi yükselir ve alçıyı ıslatmaz. Bu sayede mum kolaylıkla ve temiz bir şekilde alınır, soğutulur ve yeniden kullanılabilir hale gelir.
- Kuru yöntemle kıyaslandığında, buharlı yöntemle mumun alındığı derecelere yapılan dökümlerde gaz boşluğu azdır. Bu sayede daha yüksek ürün kalitesi elde edilir.
- Kuru yöntemde yanan mumlar, çevreye zararlı atık gazlar oluşturur. Buharlı yöntemde ise mum yakılmadan, daha düşük ortam kirliliğinde kalıptan uzaklaştırılabilir. Son zamanlarda işletmeler, hava kirliliğini önleme ve bu zararlı atık gazları minimum seviyeye indirme çalışmaları yapmakta; bu çalışmaları ISO 14001 çevre yönetmeliğine uygun hale getirmeyi amaçlamaktadır. Buradan hareketle; buharlı yöntem, kuru yönteme göre tercih edilmektedir.

### **3.1.3 Mikrodalgalı Yöntem**

Bu yöntemde, mum indirme işlemi mikrodalga kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Yüksek ürün kalitesi ve enerji verimliliğine rağmen, maliyetli bir teknolojidir.

### **3.2 Kayıp Mum Tekniğinde Mumların Geri Kazanılması**

Kayıp mum tekniğinde mumların geri kazanılması, günümüzde ekonomik ve çevresel açıdan büyük önem taşımaktadır. Maliyetlerin azaltılması ve yapılan çalışmaların çevre yönetmeliklerine uygun hale getirilmesi için yapılabilecek işlemlerden biri, mum indirme prosesi sonunda eriyen mumları tekrar kullanılabilir hale getirmektir [42].

Mumların geri kazanılması genel olarak; mum indirme işlemi sonunda erimiş mumu katılaştırma ve paketleme, mumu tekrar kullanmak için eritme ve daha sonra kurutma işlemleri sonunda gerçekleşir.

Bu işlemler haricinde mumların seramik ve diğer katkılardan arındırılması ve yüksek kalitede geri kazanımı için ayrıca filtreleme ve santrifüj işlemi de yapılmaktadır.

### **3.2.1 Katılaştırma ve Paketleme**

Erimiş mumun uygun bir kaba alınarak katılaşmaya bırakılması, mum geri kazanımının başlangıç noktasını oluşturur. Paketleme işleminde ise mumlar mümkün olduğunca büyük ingotlar ve bloklar halinde olmalıdır. Bu şekilde mumun taşınması ve daha sonra gerektiği miktarda kullanılması kolaydır [42].

### **3.2.2 Eritme**

Katılaştırılan ve paketlenen mumlardan kullanılacak miktarı kesilir, mum eritme tankına alınır ve buhar yardımıyla eritilir. Bir fan yardımıyla da duman ve buhar atmosfere atılır [42].

### **3.2.3 Kurutma**

Eritme sonunda elde edilen mum, henüz kullanılmaya uygun değildir ve bir sonraki adım olan kurutma işlemine alınır. Bu noktada mum hala su, katkı ve diğer katıları içermektedir. Muma ısı verilerek mumun içindeki su kaynamaya başlar ve buhar uzaklaştırılır. Diğer bileşenlerin de kaynamaması için ısı kontrolü sağlanmalıdır. İstenilen su içeriğine, kimyasına ve hacmine göre mum kurutulmaya bırakılır [42].

## BÖLÜM 4

### OTOKLAV

Otoklav Fransız kökenli bir sözcük olup; 'auto' yani kendiliğinden ve 'clavis' yani anahtar sözcüklerinin birleşiminden meydana gelir. Sözcük anlamı kendinden kilitli cihazdır [43].

Otoklavlar, 100 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda yürütülen tüm ısı işlemleri gerçekleştirebilen cihazlardır. Bu cihazlar atmosfer basıncının üzerindeki basınçlarda çalışır. Çalışma sistemlerine bakıldığında, düdüklü tenceredeki gibi kazan içerisinde su ısıtılarak ya da buhar jeneratörü ile önce buhar oluşturulur, sonrasında bu buhar burada hapsedilerek basınç yükselir [44].

Otoklav ilk biçimiyle; 1861 yılında Fransız bir fizikçi ve buhar makinesi mucitlerinden Denis Papin'in icadı olan buhar basınçlı tencere, yani bizim deyimimizle düdüklü tencere olarak karşımıza çıkar (Şekil 4.1) [45,46].



Şekil 4. 1 Basit otoklav fırını [46]

Sterilizasyon yani dezenfekte amacıyla ilk otoklav, 1880'li yıllarda Pasteur'ün öğrencisi ve çalışma arkadaşı Charles Chamberland tarafından, Pasteur'ün suyun kaynama noktasını 100 °C'den daha yüksek sıcaklıklara çıkarabilecek bir sterilizasyon tekniği isteği üzerine yapılmıştır. Bu sterilizasyon cihazına otoklav denmesinin sebebi, basınç

yükseldiğinde buharın kaza ile dışarıya püskürmesini önleyen otomatik kilitli bir cihaz olduğunu tanımlamak içindir [45].

Otoklav, sterilizasyonu basınç altında doymuş su buharı ile gerçekleştirir. Bu nedenle otoklava buhar sterilizatörü de denmektedir [43].

#### **4.1 Otoklavların Yapısı**

Otoklavı teknik açıdan ele alırsak; genellikle çift çeperli ve metalden yapı, içerisindeki akışkanın ısıtılması için elektrikli bir ısıtma kaynaklı, özel kapağı izolasyonlu ve contalı, gerekli sıcaklık, basınç ve zaman göstergeleriyle istenilen değerlere ayarlanabilen, yüksek sıcaklığa ve basınca dayanıklı bir cihaz olduğunu görürüz. Otoklavlar ayrıca çok çeşitli boyutlarda ve yapılarda olabilmektedir. Çok küçük ve basit olanlar olduğu gibi büyük ve karmaşık otoklavlarla da karşılaşmak mümkündür. Çeşitlerine bakıldığında çift çeperlinin yanında tek çeperli, tek kapılı, ön vakumlu ve buhar jeneratörlü olanları vardır [47,48].

Akışkan olarak kullanılan su buharı, buhar jeneratörü ve merkezi sistemden direkt olarak veya cihaz içerisindeki su ısınıp buhara dönüşerek sağlanır. Burada her iki uygulamanın da yararlı yönleri vardır. Örneğin ısıtma ortamı olarak su kullanıldığında, otoklav içinde ısı iletimini engelleyen hava paketlerinin oluşumu söz konusu değildir. Isıtma ortamı olarak buhar kullanıldığında ise, otoklavda suyun ayrıca ısıtılması zorunluluğunu ortadan kaldırdığından bu uygulamada daha az enerji harcanır, yani daha ekonomiktir [44].

Aletlerin sterilizasyonu için süre, sıcaklık, basınç ve nem olmak üzere dört etkin parametre kullanılır. Sterilizasyon için sıcaklık ve nem miktarı yeterli seviyede ve sürede olmalıdır. Basınç ise doymuş buhar eldesi için gerekli bir parametredir [49].

#### **4.2 Otoklavın Kısımları**

Her otoklavda bulunan bölümler şunlardır [48]:

#### 4.2.1 Kazan

Kazan, işlem görecekt malzemenin yerleştirildiği alandır. Yüksek buhar basıncını güvenli bir şekilde depo edebilmek için özel imal edilir. Tek çeperli ya da iç içe konumlandırılmış iki çeperden oluşmaktadır. Tek çeperli otoklavda ayrı bir su bölmesi olmadığından dolayı su, kazanın dibine konur. Malzemenin ıslanmaması için yüksekliği ayarlanabilen ızgara bulunur. Çift çeperli olanlarda ise su dış kazanın dibine konur, iç kazana malzeme yerleştirilir. Bu iki çeper arasında buhar geçişi olur.

#### 4.2.2 Kapak

Otoklav basınçlı bir kaptır ve buhar kaçırmaması için, ağzının sıkıca kapatılması gerekir. Bu kapaklar burgulu vida veya manivela ile sıkıca kapanabilen özellikte olmalı, ayrıca kapakların üzerinde sızdırmazlık sağlayan sağlam bir lastik conta bulunmalıdır (Şekil 4.2). Yüksek buhar basıncına maruz kalacaklarından dolayı tasarımlarında fiziksel dayanım ön plandadır. Sayısına göre tek veya çift kapaklı; açılma yönüne göre üstten veya yandan açılabilir kapaklı olarak sınıflandırılabilir.



Şekil 4. 2 Otoklav cihazı kapak contası [50]

#### 4.2.3 Termostat

Sıcaklığın belli bir düzeyde kalmasını sağlayan ekipmandır. Isı kaynağı olarak genellikle elektrik kullanılır.

#### **4.2.4 Hava Boşaltma Musluğu**

Otoklav çalışmaya başladıktan sonra içindeki havanın boşaltılabilmesi için kullanılan musluktur. Ön vakumlu otoklavlarda vakumla hava boşaltılırken, diğerlerinde hava boşaltma musluğu, saf buhar çıkmaya başlayana kadar açık tutularak hava boşaltılır.

#### **4.2.5 Basınç Ayar Subabı**

Basıncın belli bir düzeyde kalmasını sağlayan ekipmandır. Basınç belli bir düzeyin üstüne çıktığında fazla buharın çıkmasına izin vererek basıncı istenilen seviyeye getirir.

#### **4.2.6 Manometre ve Termometre**

Otoklavın çalışması boyunca, manometre cihaz içi basıncı; termometre cihaz içi sıcaklığı gösterir.

### **4.3 Buhar Sterilizatörünün (Otoklav) Çalıştırılması ve Kullanılması**

Sterilizasyon amaçlı otoklavların çalıştırılmasını ve kullanılmasını aşağıda maddeler halinde özetlersek [48];

- Akışkan olarak su kullanılan otoklavlarda, su miktarı yeteri kadar olmalıdır. Ayrıca kullanılan suyun saf su ya da de-iyonize su olması, kazan taşı oluşumunu engeller.
- Sterilizasyon yapılacak aletler cihaz içine konulduktan sonra kapak sıkı bir şekilde kapatılır. Daha sonra hava boşaltma musluğu açılarak cihaz içindeki hava boşaltılır. Ön vakum sistemli otoklavlarda ise vakum sistemi cihazın içerisindeki havayı vakumlar ve boşaltır. Cihaz içi havanın boşaltılması çok önemlidir. Çünkü cihaz içinde hava kalması sıcaklık-basınç ilişkisini bozar, yani hava ve buhar karışacağı için aynı basınçta, istenilenden daha düşük sıcaklıkta buhar oluşur. Cihazın verimli çalışmasını engeller [51].
- Otoklav ısıtıcısı çalıştırılır ve termostat istenilen dereceye ayarlanarak suyun ısınması sağlanır. Su ısındıkça hava boşaltma musluğundan önce hava sonra hava ile birlikte karışık buhar ve son olarak saf buhar çıkar. Ön vakumlu otoklavlarda ise vakumlanarak havası boşaltılmış cihazın içine doymuş buhar verilir. Bu şekilde

cihaz içinde yüksek sıcaklık ve basınç oluşur. Etkin kullanım için su buharı ayarlanan basınç ve sıcaklıkta mümkün olduğunca doymuş buhar halinde olmalıdır [51].

- Saf buharın çıktığı görülünce hava boşaltma musluğu kapatılır ve basınç ayar subabıyla cihaz içi basınç istenilen değere ayarlanır. Musluğun kapatılması ile cihaz içi sıcaklığı ve basıncı yükselmeye başlar. Hava boşaltma musluğunun kapatılma zamanı, sterilize edilen aletler üzerinde etkilidir.
- Sterilizasyon süreci, istenilen cihaz içi basınç ve sıcaklık değerine ulaşıldığı zaman başlar. Sterilizasyon süresi tamamlandığında ısıtıcı kapatılır, hava boşaltma musluğu açılarak buhar tahliyesi yapılır ve son olarak manometre basıncı sıfıra düştüğünde kapak açılarak sterilize edilmiş aletler alınır. Burada dikkat edilecek nokta, kapak ve hava boşaltma musluğunun aynı anda açılmamasıdır. Çünkü ani basınç düşümü, cihaz içindeki aletlerin sterilizasyonunu bozar.

#### 4.4 Otoklav Tipleri ve Kullanım Alanları

Otoklavlar; mikrobiyoloji, tıp, pediatri, diş hekimliği, veterinerlik gibi medikal uygulamalarda sterilizasyon amaçlı yaygın olarak kullanılırlar. Bunun haricinde kimya endüstrisinde; kaplamaların dayanımını iyileştirme, kauçuk vulkanizasyonu, hidrotermal sentez işlemlerinde de kullanılır [52].

Sterilizasyon amacıyla kullanılan otoklavlara bakıldığında, tezgah üstüne konulabilen küçük boyutlu otoklavlar olduğu gibi; büyük hastane ve kliniklerde kullanılan ve iç hacmi büyük olabilen otoklavları görmek mümkündür (Şekil 4.3) [45].



a



b

Şekil 4. 3 a. Tezgah üstü otoklav b. Büyük boyutlu otoklav [45]

Bunun haricinde endüstride kullanılan, büyük boyutlu otoklavlar da mevcuttur. Bu otoklavlar endüstriyel otoklavlar olup, detaylı bir şekilde anlatılmıştır.

#### **4.4.1 Endüstriyel Otoklavlar**

Endüstriyel otoklavlar, yüksek basınç ve sıcaklık gerektiren malzemeleri işlemek için kullanılan basınçlı büyük kaplardır. Endüstriyel otoklavlar; ekstra özen ve dikkat istenen, yüksek performans gerektiren endüstrilerde kullanılır.

Endüstriyel otoklavlar; cam laminasyonunda, vulkanizasyon işleminde, mum indirme prosesinde, radyoaktif maddelerin taşınmasında ve depolanmasında (Şekil 4.8), gazbeton üretiminde (Şekil 4.9) kullanılırlar [53].

##### **4.4.1.1 Cam Laminasyonunda Kullanılan Endüstriyel Otoklavlar**

Cam laminasyonunda kullanılan otoklavlar, ince cam katmanları ısı ve basınçla birleştirerek camın dayanıklılığını artırır (Şekil 4.4).



Şekil 4. 4 Cam laminasyonunda kullanılan endüstriyel otoklavlar [53]

##### **4.4.1.2 Vulkanizasyon İşleminde Kullanılan Endüstriyel Otoklavlar**

Vulkanizasyon işleminde kullanılan otoklavlar; kauçuk endüstrisinde, doğal kauçuğu vulkanize edilmiş dayanıklı kauçuk haline getirir. Bu otoklavlar ayrıca lastiklerin, hortumların ve buna benzer materyallerin iyileştirilmesinde kullanılır (Şekil 4.5).





Şekil 4. 5 Vulkanizasyon işleminde kullanılan endüstriyel otoklav [53]

#### 4.4.1.3 Mum İndirme Prosesinde Kullanılan Endüstriyel Otoklavlar

Mum indirme prosesinde kullanılan otoklavlar, kayıp mum tekniğinde seramik kabuk kalıptan veya dereceli kalıptan mumun eritilip alınmasında, böylece kalıp boşluğu oluşturulmasında kullanılır. Bu otoklavlarda buhar kullanılarak homojen sıcaklık dağılımı sağlanır, böylece ısıl enerji hızlıca mumu eriterek kalıptaki çatlama önler (Şekil 4.6).



Şekil 4. 6 Mum indirme prosesinde kullanılan endüstriyel otoklav [53]

#### 4.4.1.4 Kompozit Endüstriyel Otoklavlar

Özel kullanım alanları olan endüstriyel otoklavlar dışında, birden fazla işleme yönelik kompozit otoklavlar da mevcuttur. Bu otoklavlar havacılıkta, askeri alanda, detayları ekstra özen ve dikkat ile inşaa eden diğer yüksek performanslı endüstrilerde kullanılır (Şekil 4.7).



Şekil 4. 7 Kompozit endüstriyel otoklav [53]



Şekil 4. 8 Radyoaktif maddelerin taşınması ve depolanmasında kullanılan endüstriyel otoklavlar [53]



Şekil 4. 9 Gazbeton üretiminde kullanılan endüstriyel otoklavlar [53]

#### **4.5 Otoklavın Kullanımına Dair Güvenlik Önlemleri**

Güvenlik önlemleri ve talimatlar dikkate alındığı sürece, otoklavın kullanımı sağlık ve güvenlik yönünden hiçbir tehlike arz etmez. Alınacak önlemler aşağıda anlatılmıştır.

##### **4.5.1 Yanıkların Engellenmesine Yönelik Önlemler**

Otoklavın üst kapak somunları ve bombesi, sac kapaklar vs. gibi bazı dış metalik aksamı aşırı ısınmaya maruz kalabilir. Dolayısıyla, derinin metalik aksam ile irade dışı teması da yanıklara yol açabilir.

- Çıplak parmaklarla üst kapak bombesine ve somunlarına kesinlikle dokunulmamalı; çalışılırken eldiven giyilmelidir.
- Otoklavın metalik aksamı ile vücut temasında bulunmadan çalışma hususunda azami dikkat ve özen gösterilmelidir.
- Kazan manometresi “0 bar” değerini göstermiyorsa ve “Kazan Basınçlı” sinyali yanıyorsa kesinlikle kapak somunlarını gevşetilmemeli, kapak açılmamalıdır.

##### **4.5.2 Cereyan Çarpmasının Engellenmesine Yönelik Önlemler**

Şehir şebekesinden beslenecek şekilde tasarlanmış olan otoklavla çalışırken, cereyan çarpmalarını engellemek için aşağıdaki önlemlerin alınması gerekmektedir:

- Şase üzerinde oluşabilecek herhangi bir akım kaçağına karşı, cihazın elverişli bir şekilde topraklanması gerekmektedir. Bunun için, otoklavın ana cereyan kablosu içinde prizdeki toprak hattına bağlantıyı sağlayan bir toprak hattı zaten mevcuttur. Toprak hattı kesinlikle iptal edilmemelidir.
- Herhangi bir elektrik bakım-onarım işlemine başlamadan önce veya otoklavın herhangi bir nedenle sökülmesi gerektiğinde cereyan kablosunun fişi prizden çekilerek cereyan kesilmelidir.

### OTOKLAV FIRIN SİSTEMİ

Kayıp mum tekniğinde derecenin alçılanmasından sonraki kısım, alçı kalıbı pişirip kalıbın içinden mumu alarak kalıp boşluğunu oluşturmaktır. Bazı pişirme fırınlarında hem alçı pişirilip hem de mum indirilmektedir. Fakat bu fırınlarda mum, yanar ve tekrar kullanılamaz hale gelir. Ayrıca yanma esnasında, çevreye zararlı atık gazlar salınır. Günümüzde enerji verimliliği, kalite yönetimi, maliyet yönetimi gibi konuların yanında çevre yönetimi de önemli bir husustur. Bu hususta mumun yakılması sonucu çevreye salınan gazlar ISO 14001 çevre yönetmeliğine uygun duruma getirilmelidir.

Mumun kısa sürede ve yakılmadan uzaklaştırılarak yeniden kullanımının sağlanmak istenmesi nedeniyle, kuru yöntemle kıyasla; buharlı mum indirme yöntemleri son zamanlarda tercih edilmeye başlanmıştır. Buna bağlı olarak, proje amacına uygun bir otoklav fırını tasarlama ihtiyacı doğmuştur.

Bu bölümde; mum indirme prosesinde kullanılacak otoklav fırın sisteminin tanıtımı, sistem elemanları ve bu elemanların özellikleri anlatılacaktır.

#### 5.1 Sistem Tanıtımı

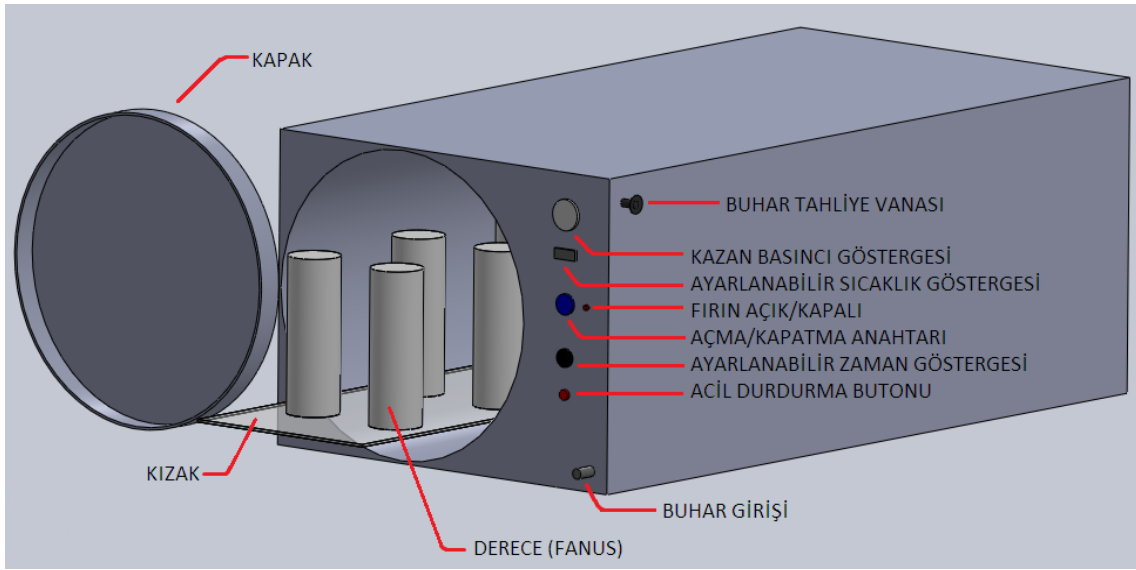
Tasarlanan otoklav fırını; kuyumculuk sektöründe, mum indirme işlemi başta olmak üzere, kullanılacaktır.

Genel olarak; mum indirme işlemi uygulanacak dereceler, otoklav fırınına alınır. Kapak, hava almayacak biçimde sıkıca kapatılır. Vakum sistemi ile fırın içerisindeki hava boşaltılır. Doymuş buhar, kazan içerisine basılır. İstenilen sıcaklık ayarı yapıldıktan sonra, kazan için istenilen basınca gelmesi beklenir. Dereceler, fırında istenilen

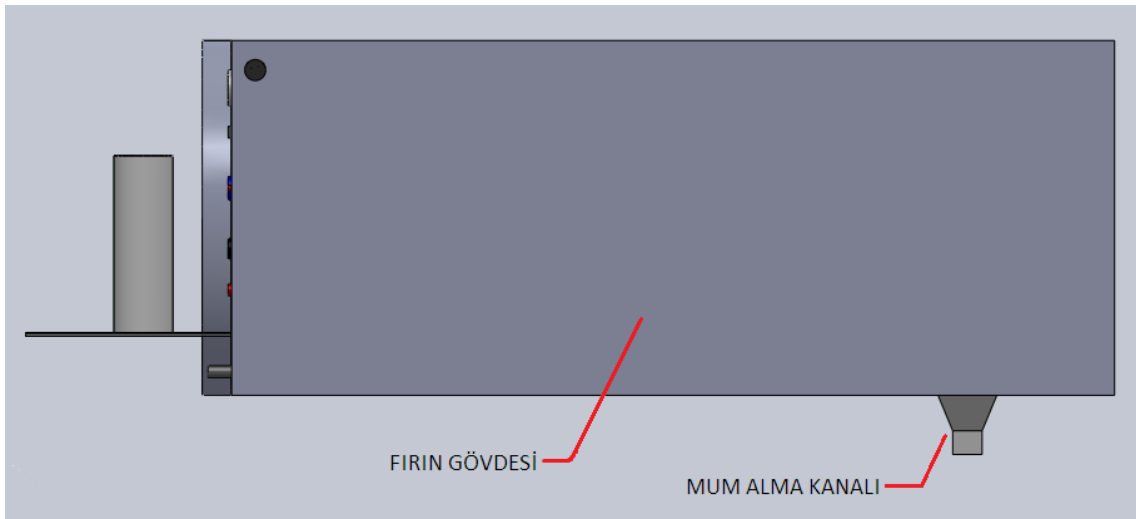
sürede bekletilerek mumun kalıptan akması sağlanır. İşlem sonunda akan mum, mum alma kanalından alınır. Buhar tahliye vanası ile buharın tahliyesi yapılır.

Tasarımda; mum indirmede kullanılacak buhar, buhar jeneratöründe oluşturulduktan sonra direkt olarak kazan içerisinde basılacaktır. Bu sayede, suyun ayrıca ısıtılmasına gerek kalmayacağından, daha az enerji harcanmış olacaktır.

Şekil 5.1’de tasarlanacak otoklav fırını; Şekil 5.2 ise bu otoklav fırınının yandan görünümü görülmektedir.

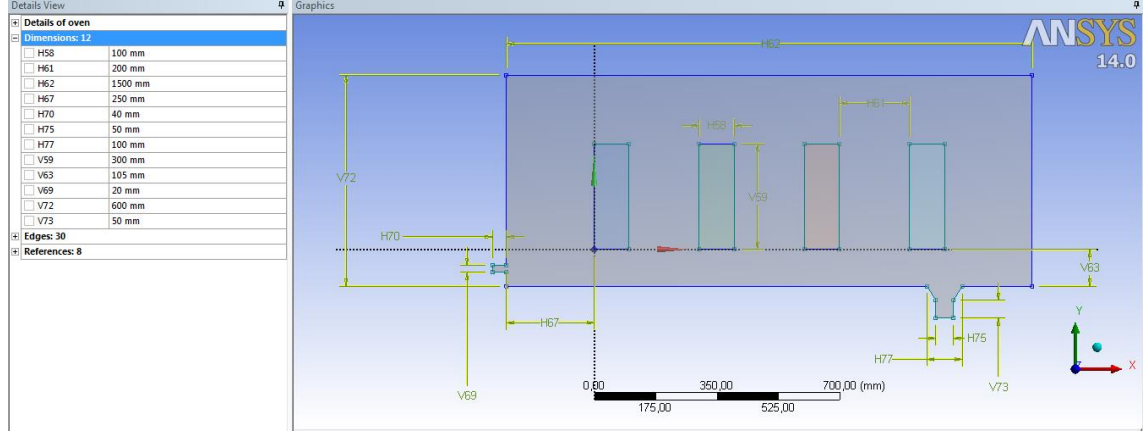


Şekil 5. 1 Otoklav fırını tasarımı



Şekil 5. 2 Otoklav fırını tasarımının yandan görünümü

Tasarlanan otoklav fırını, 60 cm çapında, 150 cm uzunluğunda yatay silindirik bir yapıdadır. 10 cm çapında ve 30 cm yüksekliğindeki dereceler için uygundur. Ayrıca 2 cm çapında bir buhar giriş borusuna ve 5x5 cm boyutunda bir mum alma kanalına sahiptir (Şekil 5.3).



Şekil 5. 3 Tasarlanan otoklav fırın ölçüleri

## 5.2 Sistem Elemanları

Otoklav fırını aşağıdaki elemanlardan oluşmaktadır:

- Fırın gövdesi ve kazan
- Kapak
- Güç kaynağı
- Güç kontrol ünitesi ve kontrol sistemi (PLC)
- Valf ve borulama elemanları
- İzolasyon malzemesi
- Vakum ünitesi
- Mum alma kanalı
- Ayar ve gösterge paneli
- Kızak

### 5.2.1 Fırın Gövdesi ve Kazan

Fırın gövdesi ve kazan için kullanılacak malzeme, basınçlı kazanlar için kullanılan, yüksek buhar basıncına ve sıcaklığına dayanıklı özel kazan sacı olacaktır. Ayrıca paslanmaya karşı özel boya ile boyama işlemi gerçekleştirilecektir.

### **5.2.2 Kapak**

Kapak, bombeli ve basınç altında kapı kilitleme sistemine sahip olacaktır. Ayrıca, üzerinde sızıntı önleyici silikon conta bulunacaktır. Kapak yana doğru açılacak ve açılma aralığı, kızağın rahatça hareketi sağlanabilecek şekilde olacaktır.

### **5.2.3 Güç Kaynağı**

Otoklav fırınında güç kaynağı olarak elektrik kullanılacaktır. Standart olarak 380 V, 50 Hz güç kaynağına sahip olacaktır.

### **5.2.4 Güç Kontrol Ünitesi ve Kontrol Sistemi (PLC)**

Zaman, sıcaklık, basınç ve vakum fonksiyonlarının kontrolü yazılım ile sağlanacaktır ve bu fonksiyonlar izlenecektir.

### **5.2.5 Valf ve Borulama Elemanları**

Bu sistemde; kazan içindeki buharın tahliye miktarını ayarlamak için 'buhar tahliye vanası', buharın kazana girişini sağlamak için 'buhar giriş kanalı' ve buharın kazandan çıkışını sağlamak için 'buhar çıkış kanalı' bulunacaktır.

### **5.2.6 İzolasyon Malzemesi**

Isı kayıplarını önlemek için kapak çevresine taş yünü izolasyon malzemesi uygulanacaktır. Taş yününün ısı iletkenliğinin çok düşük olması, ısıya karşı dayanıklı olması ve buhar geçirgenliğinin yüksek olması, izolasyon malzemesi olarak seçiminde etkili olmuştur.

### **5.2.7 Vakum Ünitesi**

Hava ile buharın karışması, kazan içindeki sıcaklık-basınç ilişkisini bozacağı ve cihazın verimini etkileyeceğinden dolayı kazandaki havanın boşaltılması gerekir. Bunun için vakum ünitesi bulunacaktır.

### **5.2.8 Mum Alma Kanalı**

İşlem süresince eritilen mum, döküm deliğinden akacak ve mum alma kanalına gelecektir. Mum alma kanalının konik yapısı sayesinde de kolay ve temiz bir şekilde uzaklaştırılacaktır.

### **5.2.9 Ayar ve Gösterge Paneli**

Bu panelde; kazan içi basıncı gösteren 'kazan basıncı göstergesi', kazan içi sıcaklığı gösteren ve istenilen değere ayarlanabilen 'ayarlanabilir sıcaklık göstergesi', fırının çalıştığını gösteren 'cihaz açık/kapalı ışığı', fırını açıp kapatmak için 'açma/kapatma anahtarı', fırının çalışma süresini ayarlayan ve kalan işlem süresini gösteren 'ayarlanabilir zaman göstergesi' ve acil durumda fırını kapatmak için 'acil durdurma butonu' bulunacaktır.

### **5.2.10 Kızak**

Mum indirme işleminin gerçekleştirileceği dereceleri konumlandırmak için kullanılacaktır. İleri-geri kayar yapısı sayesinde dereceleri yerleştirmek kolaylaşacaktır.



### NÜMERİK ÇALIŞMALAR

Bu bölümde; otoklav fırın içi sıcaklık dağılımının ve derecelerdeki mumun erime karakteristiklerinin belirlenmesinde nümerik analiz ve sonuçlara göre bir optimizasyon yapılacaktır.

Nümerik analizin yapılmasında ANSYS® FLUENT® v.14 programı kullanılacaktır. İlk olarak mesh bağımsızlığı analizi yapılacak, daha sonra uygun mesh boyutu belirlenerek ileriki analizlerde bu mesh boyutu kullanılacaktır.

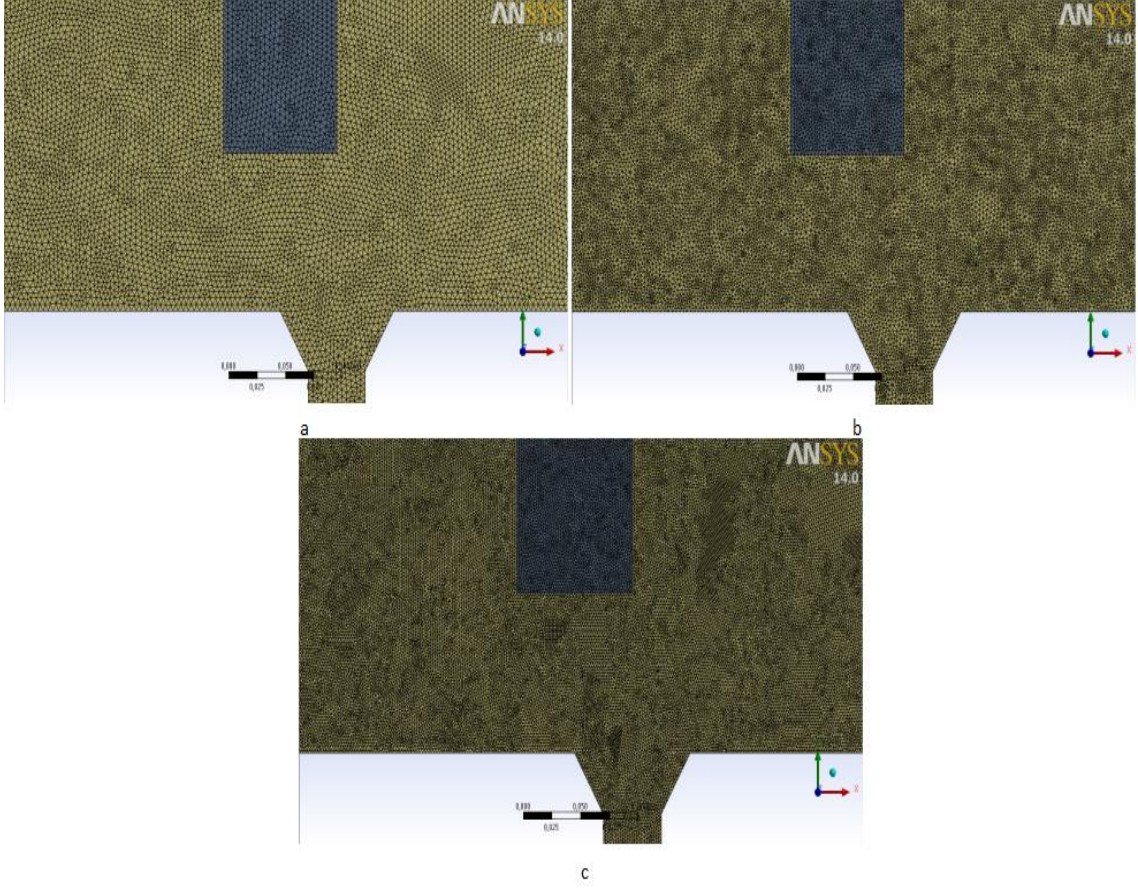
Akışkanın türü, giriş sıcaklığı, giriş hızı, proses süresi, fırın geometrisi gibi parametreler; otoklav fırın içi sıcaklık dağılımı ve derecelerdeki mumun erime karakteristikleri yönünden karşılaştırılarak optimum parametreler belirlenecektir.

#### 6.1 Mesh Bağımsızlığı Analizi

Bir CFD problemi çözüldürken; uygulanan mesh boyutu, çözümü etkilemeyecek biçimde olmalıdır. Mesh bağımsızlığı, analiz sonucunun mesh boyutundan bağımsız olduğunu sağlamak için yapılır.

Belirli bir mesh boyutu ile yapılan analiz ile daha kaba bir mesh boyutu ile yapılan analiz, sonucu değiştirmiyorsa daha sonraki analizlerde kolaylık sağlması için kaba mesh boyutu kullanılır.

Bu analizde; kabadan kaliteliye gidecek şekilde 4 mm, 3 mm ve 2 mm boyutlu üçgen mesh'ler uygulanmıştır (Şekil 6.1).



Şekil 6. 1 a. 4 mm b. 3 mm c. 2 mm boyutlu üçgen meshler

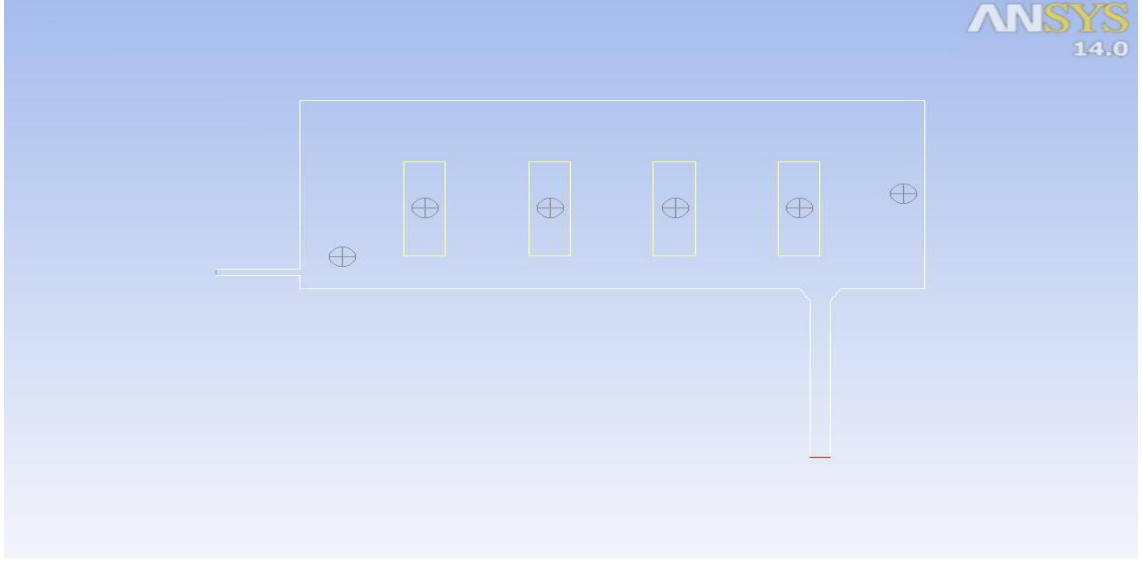
Her bir mesh boyutu için oluşturulan mesh sayılarına bakarsak;

- 4 mm mesh için: 120388 adet
- 3 mm mesh için: 308124 adet
- 2 mm mesh için: 482001 adet

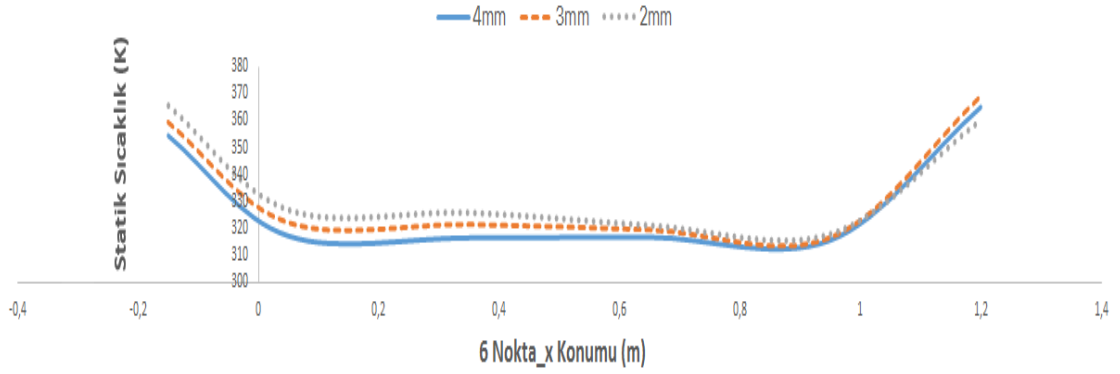
Her bir analiz için aynı parametreler kullanılmıştır;

- Akışkanın Türü: Hava
- Giriş Hızı: 5 m/s
- Proses Süresi: 3 h
- Fırın Geometrisi: Tek girişli
- Giriş Sıcaklığı: 400 K

3 farklı mesh boyutu kullanılarak yapılan analiz sonucunda fırın içerisinde 6 farklı nokta belirlenmiş (Şekil 6.2) ve sıcaklık dağılımları bir grafik haline getirilerek karşılaştırılmıştır (Şekil 6.3).



Şekil 6. 2 Mesh bağımsızlığı analizi için fırın içerisinde belirlenen 6 nokta



Şekil 6. 3 Her bir mesh boyutu için sıcaklık dağılım grafiği

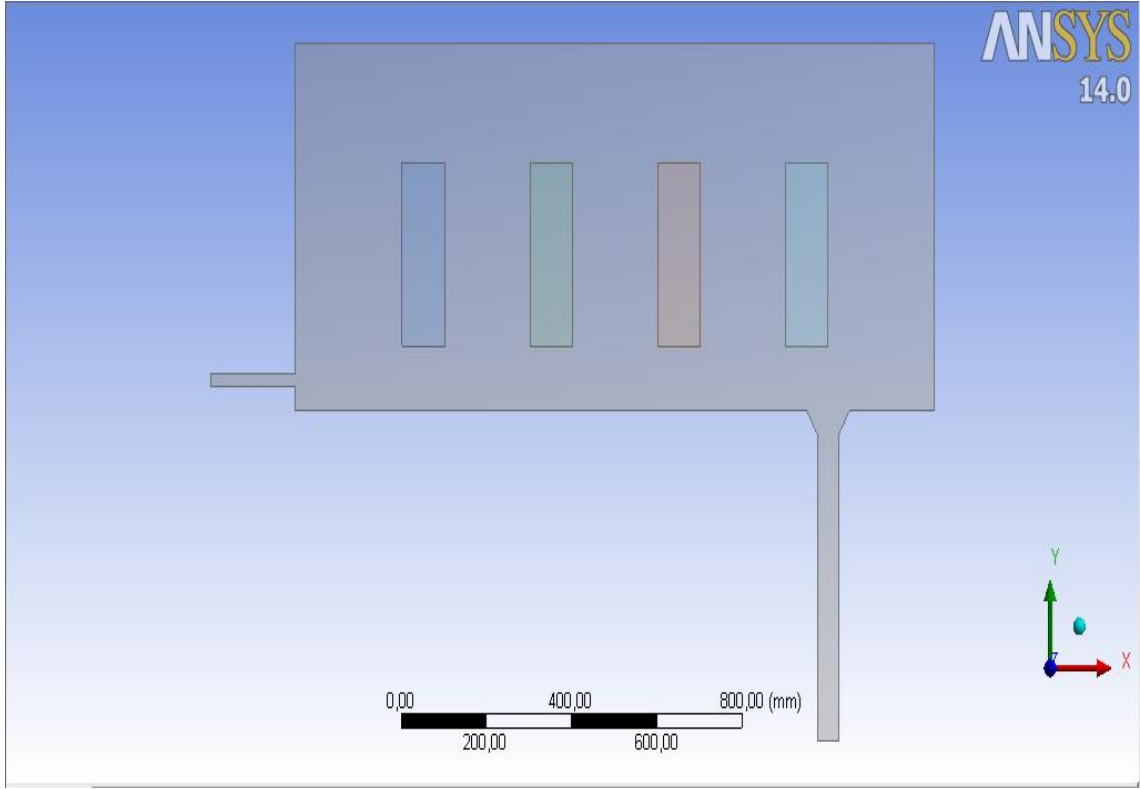
Bu karşılaştırma sonucunda, mesh boyutu olarak 4 mm seçilmiştir.

## 6.2 Karşılaştırmalı Analizler

Otoklav fırın içi sıcaklık dağılımının sağlanması ve derecelerdeki mumun erime karakteristiklerinin incelenmesi; bu yolla optimum parametrelerin belirlenmesi için analizlerde karşılaştırılacak parametreler şunlardır:

- Akışkanın türü (Hava, Doymuş su buharı)
- Akışkanın giriş sıcaklığı (400 K, 410 K)
- Akışkanın giriş hızı (1.5 m/s, 3 m/s, 4.5 m/s)
- Proses süresi (3h, 6h)
- Fırın geometrisi (Tek girişli, 3 girişli)

Parametrelerin kıyaslanmasında tek girişli otklav fırını esas alınmıştır (Şekil 6.4).



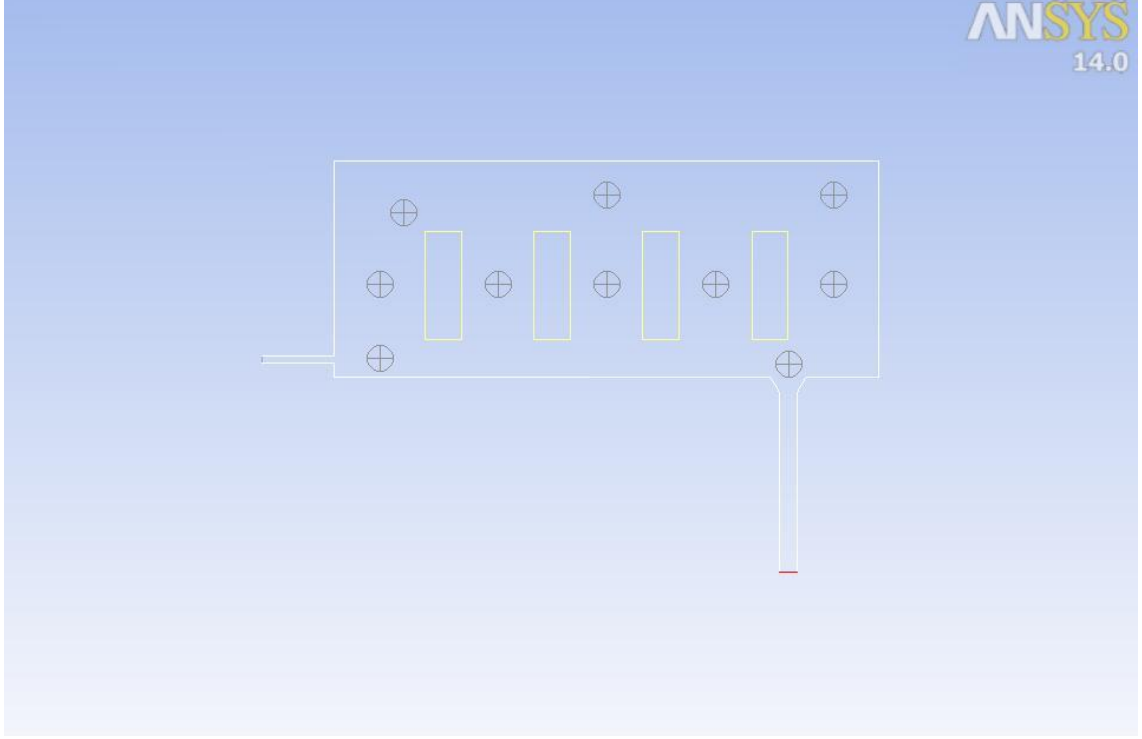
Şekil 6. 4 Tek girişli otklav fırını geometrisi

Karşılaştırması yapılacak analizler, zamana bağlı olarak (transient) çözdürülmüştür. Fırında bulunan derecelerin içerisindeki malzeme, parafin mum olarak belirlenmiştir.

Kullanılan parafin mumunun özellikleri şunlardır:

- Yoğunluk ( $\rho_{wax}$ ): 750 kg/m<sup>3</sup>
- Özgül ısı ( $C_{p_{wax}}$ ): 2890 J/kg.K
- Isıl iletkenlik ( $k_{wax}$ ): 0.21 W/m.K;  $T < T_{solidus-wax}$   
0.16 W/m.K;  $T_{solidus-wax} < T < T_{liquidus-wax}$   
0.12 W/m.K;  $T > T_{liquidus-wax}$
- Viskozite ( $\mu_{wax}$ ): 0.003833 kg/m.s
- Gizli ısı ( $q_{wax}$ ): 173400 J/kg
- Katılaşma sıcaklığı ( $T_{solidus-wax}$ ): 319 °C
- Sıvılaşma sıcaklığı ( $T_{liquidus-wax}$ ): 321 °C

Bu analizlerde, 6 saatlik bir proses süresi sonunda fırın içerisinde 10 farklı nokta belirlenmiş ve sıcaklık dağılımları bir grafik haline getirilerek karşılaştırılmıştır (Şekil 6.5).



Şekil 6. 5 Karşılaştırmalı sıcaklık dağılımı analizi için fırın içerisinde belirlenen 10 nokta Ayrıca, yine bu proses süresi sonunda derecelerdeki mumun erime karakteristikleri histogramlar oluşturularak karşılaştırılmıştır.

### 6.2.1 Akışkanın Türü

Akışkan türü olarak; hava ve su buharı kıyaslaması yapılmıştır.

Kullanılan havanın özellikleri şunlardır:

- Yoğunluk ( $\rho_{air}$ ): 1.225 kg/m<sup>3</sup>
- Özgül ısı ( $C_{p,air}$ ): 1006.43 J/kg.K
- Isıl iletkenlik ( $k_{air}$ ): 0.0242 W/m.K
- Viskozite ( $\mu_{air}$ ): 1.7894x10<sup>-5</sup> kg/m.s
- Gizli ısı ( $q_{air}$ ): 0 J/kg
- Katılma sıcaklığı ( $T_{solidus-air}$ ): 0 °C
- Sıvılaşma sıcaklığı ( $T_{liquidus-air}$ ): 0 °C

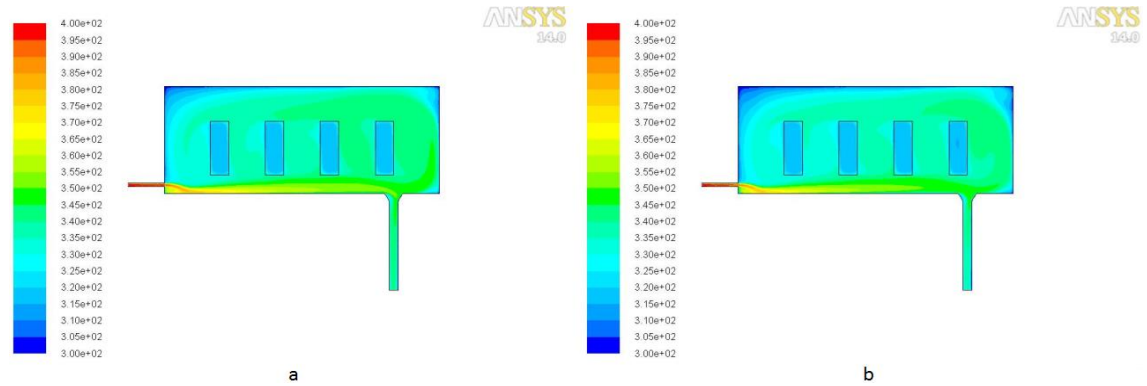
Kullanılan su buharının özellikleri şunlardır:

- Yoğunluk ( $\rho_{\text{vapor}}$ ): 0.5542 kg/m<sup>3</sup>
- Özgül ısı ( $C_{p\text{vapor}}$ ): 1901 J/kg.K
- Isıl iletkenlik ( $k_{\text{vapor}}$ ): 0.0261 W/m.K
- Viskozite ( $\mu_{\text{vapor}}$ ): 1.34x10<sup>-5</sup> kg/m.s
- Gizli ısı ( $q_{\text{vapor}}$ ): 0 J/kg
- Katılma sıcaklığı ( $T_{\text{solidus-vapor}}$ ): 0 °C
- Sıvılaşma sıcaklığı ( $T_{\text{liquidus-vapor}}$ ): 0 °C

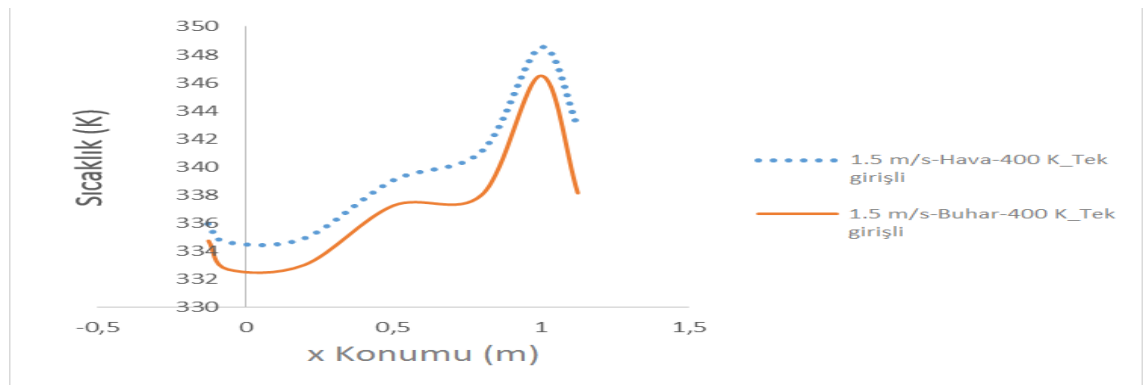
Bu kıyaslamada 3 farklı analiz çifti incelenmiştir:

- 1.5 m/s- Hava- 400 K ve 1.5 m/s- Buhar- 400 K
- 3 m/s- Hava- 400 K ve 3 m/s- Buhar- 400 K
- 4.5 m/s- Hava- 400 K ve 4.5 m/s- Buhar- 400 K

### 6.2.1.1 Hava- Buhar Karşılaştırması (1.5 m/s, 400 K)

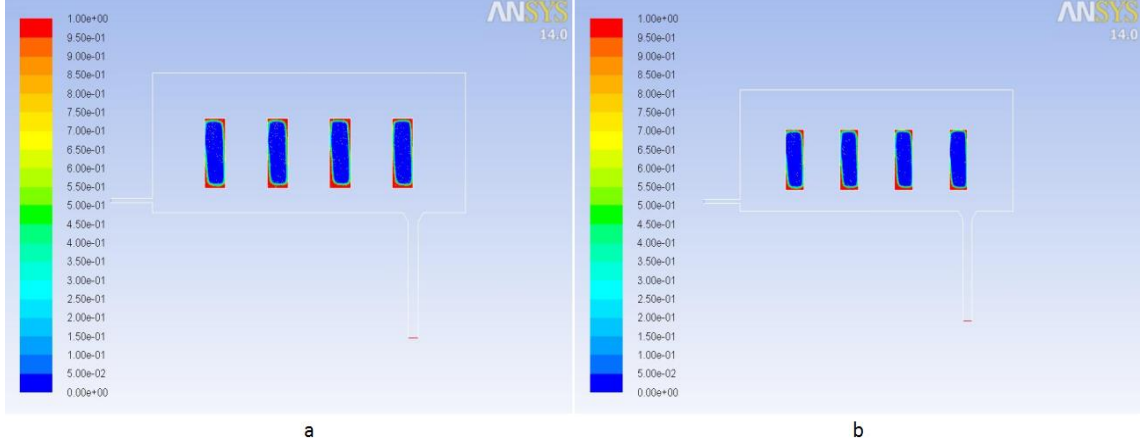


Şekil 6. 6 a. 1.5 m/s- Hava- 400 K b. 1.5 m/s- Buhar- 400 K sıcaklık dağılımları

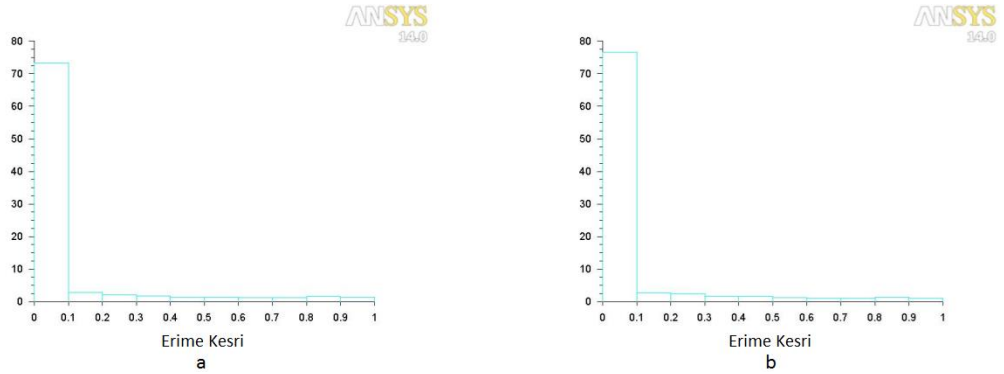


Şekil 6. 7 1.5 m/s- Hava- 400 K ve 1.5 m/s- Buhar- 400 K sıcaklık dağılım grafiği

Sıcaklık dağılımlarına bakıldığında (Şekil 6.6); su buharı ile yapılan analizdeki dağılımın, hava ile yapılamına göre daha düzgün olduğu görülür. Sıcaklık dağılım grafiğine bakıldığında (Şekil 6.7); seçilen noktadaki sıcaklık farkının benzer olduğu (11 °C), fakat su buharı ile yapılan analizdeki sıcaklık dalgalanmalarının, hava akışkanındakine göre daha az olduğu söylenebilir. Bu da daha üniform bir sıcaklık dağılımının göstergesidir.



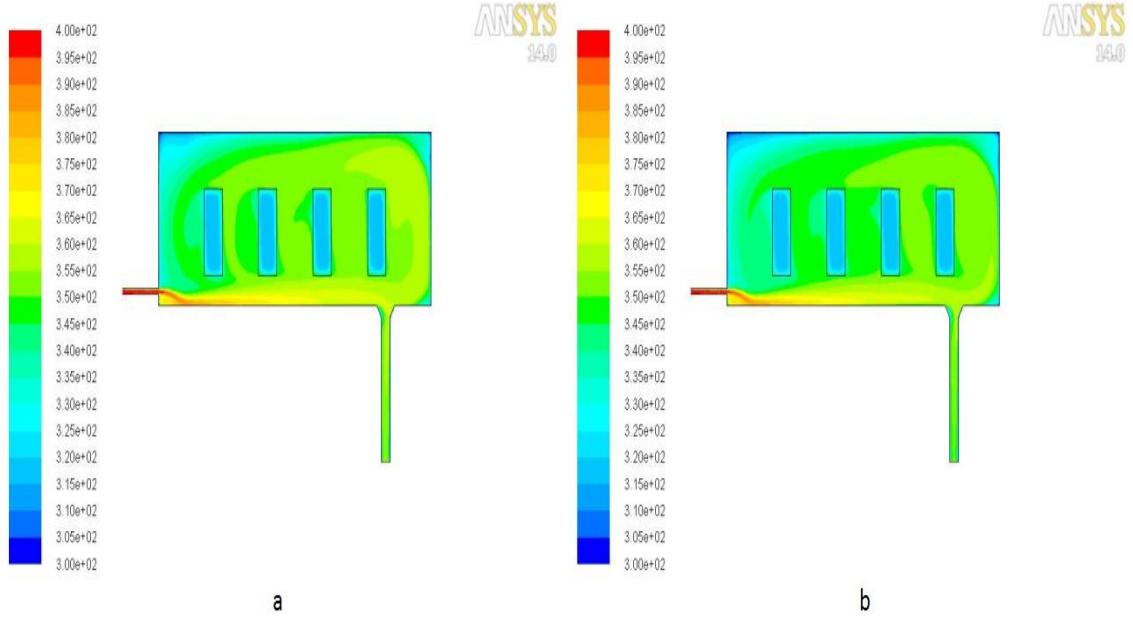
Şekil 6. 8 a. 1.5 m/s- Hava- 400 K b. 1.5 m/s- Buhar- 400 K erime karakteristikleri



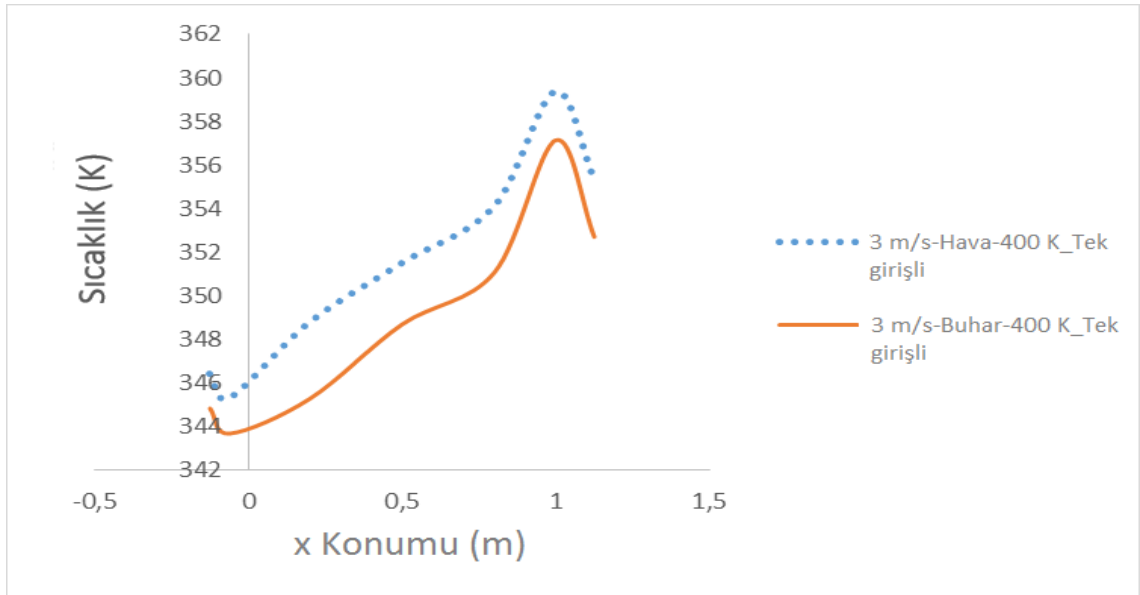
Şekil 6. 9 a. 1.5 m/s- Hava- 400 K b. 1.5 m/s- Buhar- 400 K erime karakteristiği histogramı

Erime karakteristiklerine bakıldığında (Şekil 6.8); hava akışkanı ile yapılan analizdeki mumların erime karakteristiklerinin su buharı ile yapılamına göre daha iyi olduğu görülür. Histogramlara bakıldığında (Şekil 6.9); hava akışkanı için, erime kesri 0 ila 0.1 arasındaki elementlerin yüzdesinin (%72), su buharına göre (%75) daha az olduğu; diğer erime kesirlerindeki elementlerin yüzdesi ise su buharına göre daha fazla olduğu görülür. Bunun anlamı; hava ile yapılan analizdeki mumların erime karakteristiği, su buharı ile yapılamına göre daha iyidir.

### 6.2.1.2 Hava- Buhar Karşılaştırması (3 m/s, 400 K)



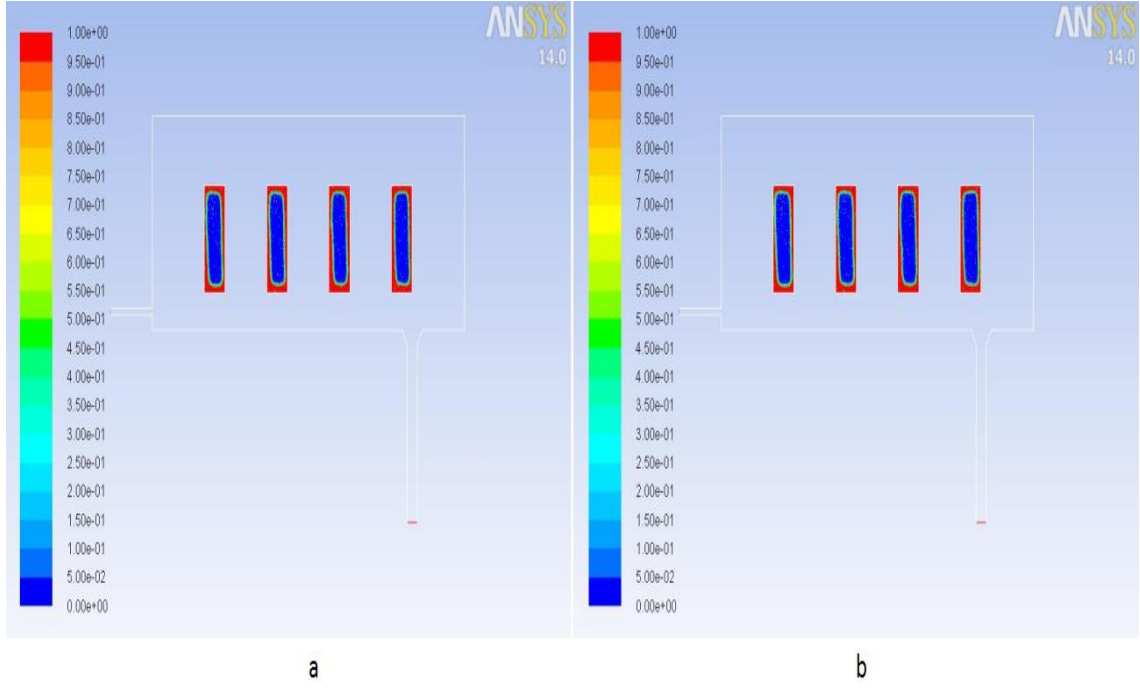
Şekil 6. 10 a. 3 m/s- Hava- 400 K b. 3 m/s- Buhar- 400 K sıcaklık dağılımları



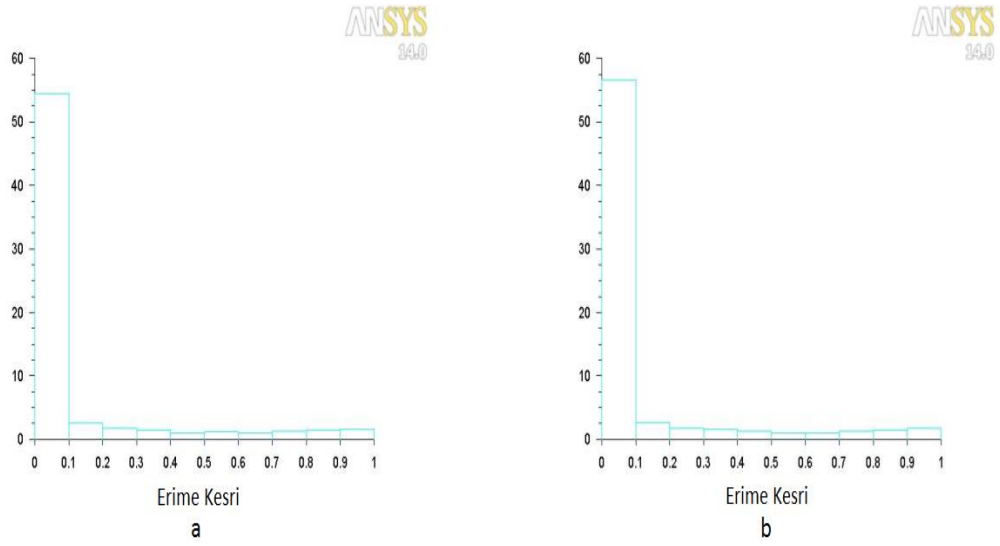
Şekil 6. 11 3 m/s- Hava- 400 K ve 3 m/s- Buhar- 400 K sıcaklık dağılım grafiği

Sıcaklık dağılımlarına bakıldığında (Şekil 6.10); su buharı ile yapılan analizdeki dağılımın, hava ile yapılabildiğine göre daha düzgün olduğu görülür. Sıcaklık dağılım grafiğine bakıldığında (Şekil 6.11); seçilen noktalardaki sıcaklık farkının benzer olduğu (12-14 °C), fakat su buharı ile yapılan analizdeki sıcaklık dalgalanmalarının, hava akışkanındakine göre daha az olduğu söylenebilir. Bu da daha üniform bir sıcaklık dağılımının göstergesidir.





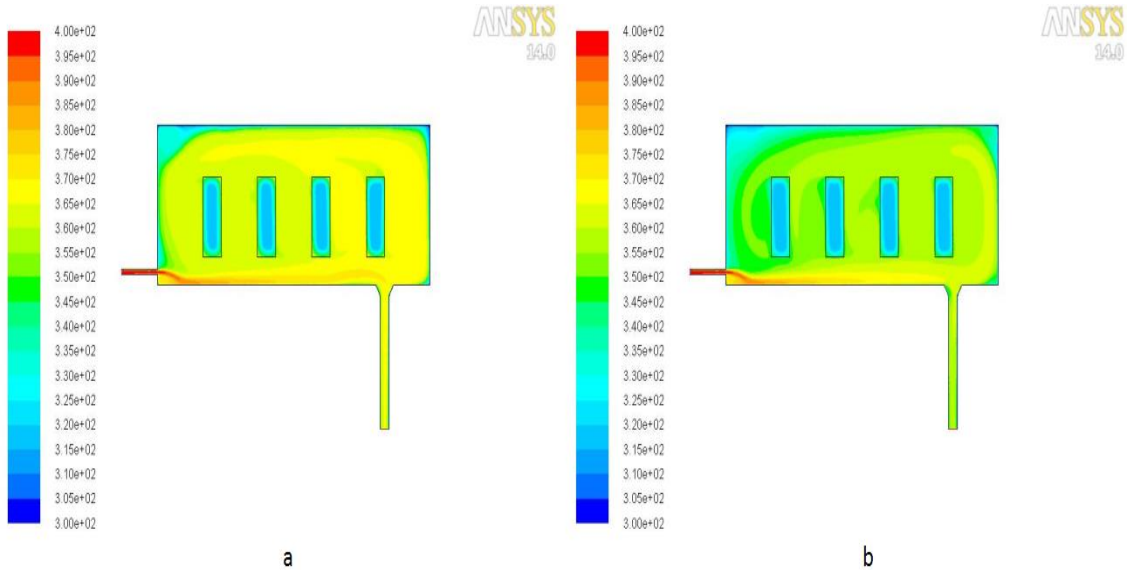
Şekil 6. 12 a. 3 m/s- Hava- 400 K b. 3 m/s- Buhar- 400 K erime karakteristikleri



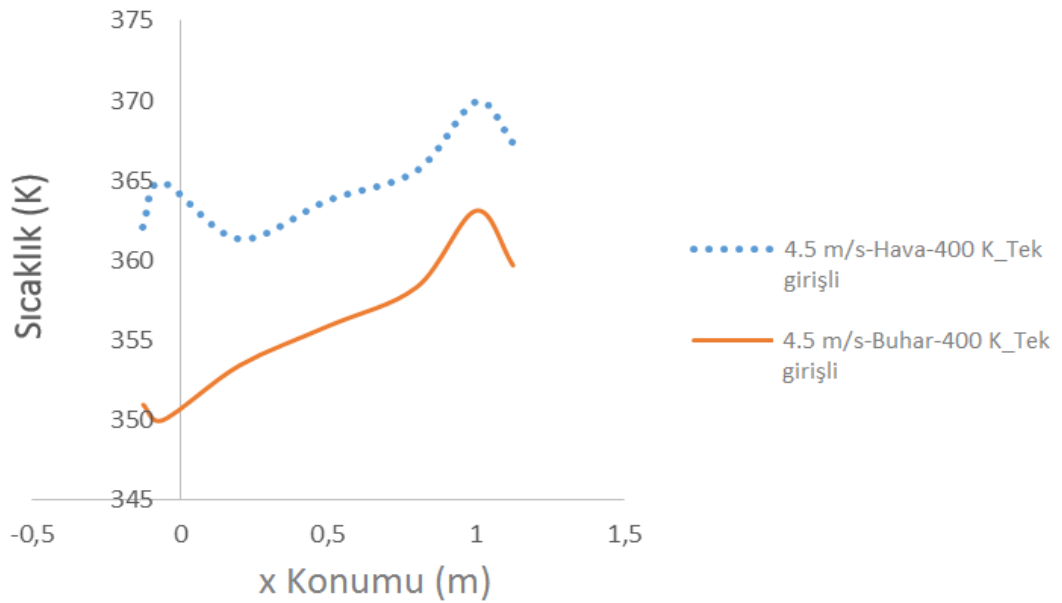
Şekil 6. 13 a. 3 m/s- Hava- 400 K b. 3 m/s- Buhar- 400 K erime karakteristiği histogramı

Erime karakteristiklerine bakıldığında (Şekil 6.12); hava akışkanı ile yapılan analizdeki mumların erime karakteristiklerinin su buharı ile yapılanaya göre daha iyi olduğu görülür. Histogramlara bakıldığında (Şekil 6.13); hava akışkanı için, erime kesri 0 ila 0.1 arasındaki elementlerin yüzdesinin (%55), su buharına göre (%57) daha az olduğu; diğer erime kesirlerindeki elementlerin yüzdesi ise su buharına göre daha fazla olduğu görülür. Bunun anlamı; hava ile yapılan analizdeki mumların erime karakteristiği, su buharı ile yapılanaya göre daha iyidir.

### 6.2.1.3 Hava- Buhar Karşılaştırması (4.5 m/s, 400 K)

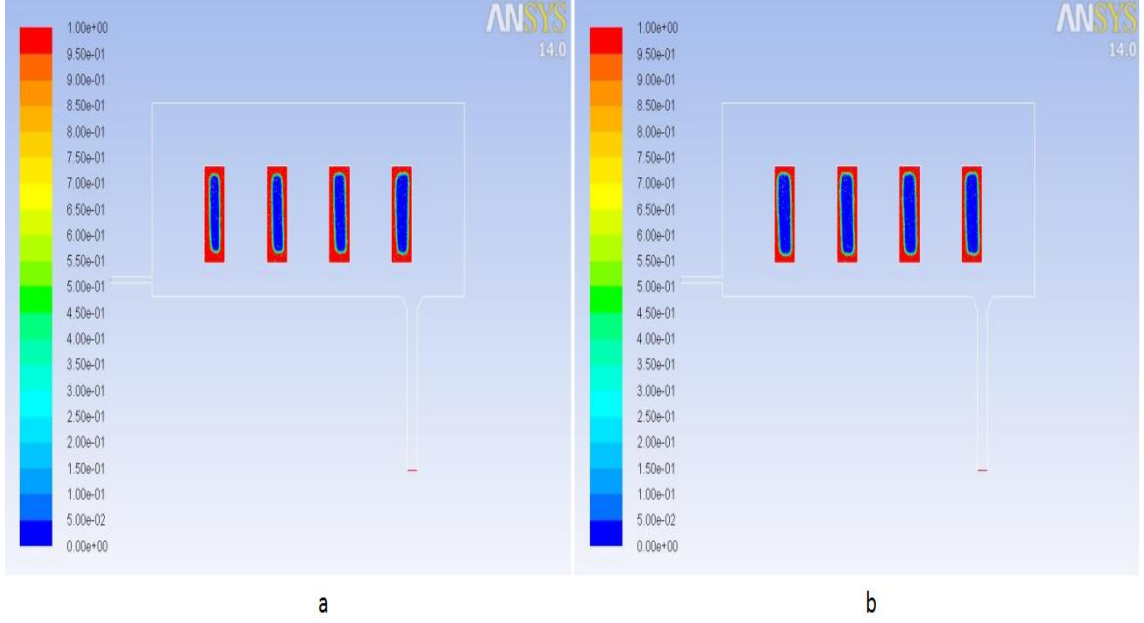


Şekil 6. 14 a. 4.5 m/s- Hava- 400 K b. 4.5 m/s- Buhar- 400 K sıcaklık dağılımları

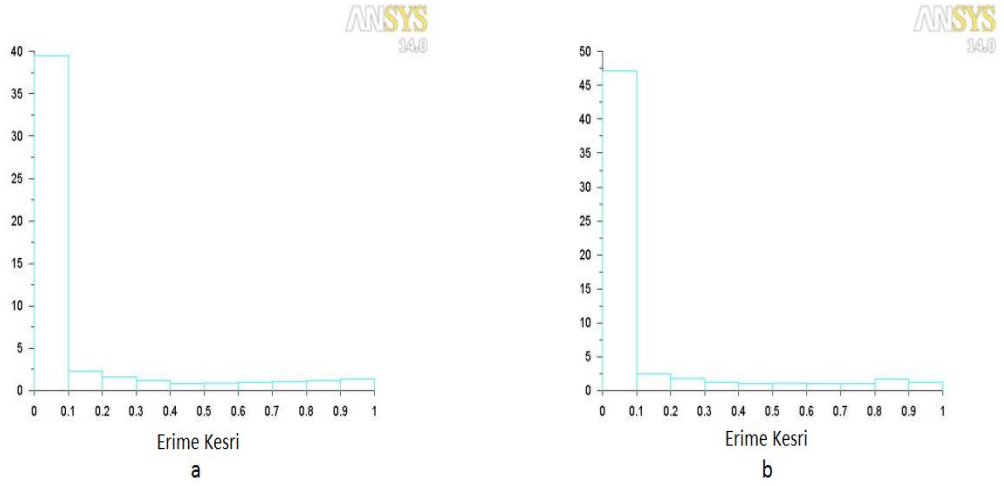


Şekil 6. 15 4.5 m/s- Hava- 400 K ve 4.5 m/s- Buhar- 400 K sıcaklık dağılım grafiği

Sıcaklık dağılımlarına bakıldığında (Şekil 6.14); su buharı ile yapılan analizdeki dağılımın, hava ile yapılabildiğine göre daha düzgün olduğu görülür. Sıcaklık dağılım grafiğine bakıldığında (Şekil 6.15); seçilen noktalardaki sıcaklık farkının benzer olduğu (9-13 °C), fakat su buharı ile yapılan analizdeki sıcaklık dalgalanmalarının, hava akışkanındakine göre daha az olduğu söylenebilir. Bu da daha üniform bir sıcaklık dağılımının göstergesidir.



Şekil 6. 16 a. 4.5 m/s- Hava- 400 K b. 4.5 m/s- Buhar- 400 K erime karakteristikleri



Şekil 6. 17 a. 4.5 m/s- Hava- 400 K b. 4.5 m/s- Buhar- 400 K erime karakteristiği histogramı

Erime karakteristiklerine bakıldığında (Şekil 6.16); hava akışkanı ile yapılan analizdeki mumların erime karakteristiklerinin su buharı ile yapılanına göre daha iyi olduğu görülür. Histogramlara bakıldığında (Şekil 6.17); hava akışkanı için, erime kesri 0 ila 0.1 arasındaki elementlerin yüzdesinin (%39), su buharına göre (%47) daha az olduğu; diğer erime kesirlerindeki elementlerin yüzdesi ise su buharına göre daha fazla olduğu görülür. Bunun anlamı; hava ile yapılan analizdeki mumların erime karakteristiği, su buharı ile yapılanına göre daha iyidir.

Histogramlara bakıldığında, yatay eksen erime kesrini, dikey eksen ise o erime kesrindeki elementlerin yüzdesini gösterir. Yani, kıyaslama yapılırken erime kesri 0 ila 0.1 arasındaki elementlerin yüzdesi ne kadar az ise; diğer erime kesirlerindeki elementlerin yüzdesi ne kadar fazla ise mumların analizdeki erime karakteristiği o kadar iyi olduğu söylenebilir.

Bu 3 farklı analiz çifti incelendiğinde; hava akışkanı ile yapılan analizlerdeki mumlar, su buharı ile yapılan analizlerdeki mumlara göre daha iyi erime karakteristiği göstermiştir.

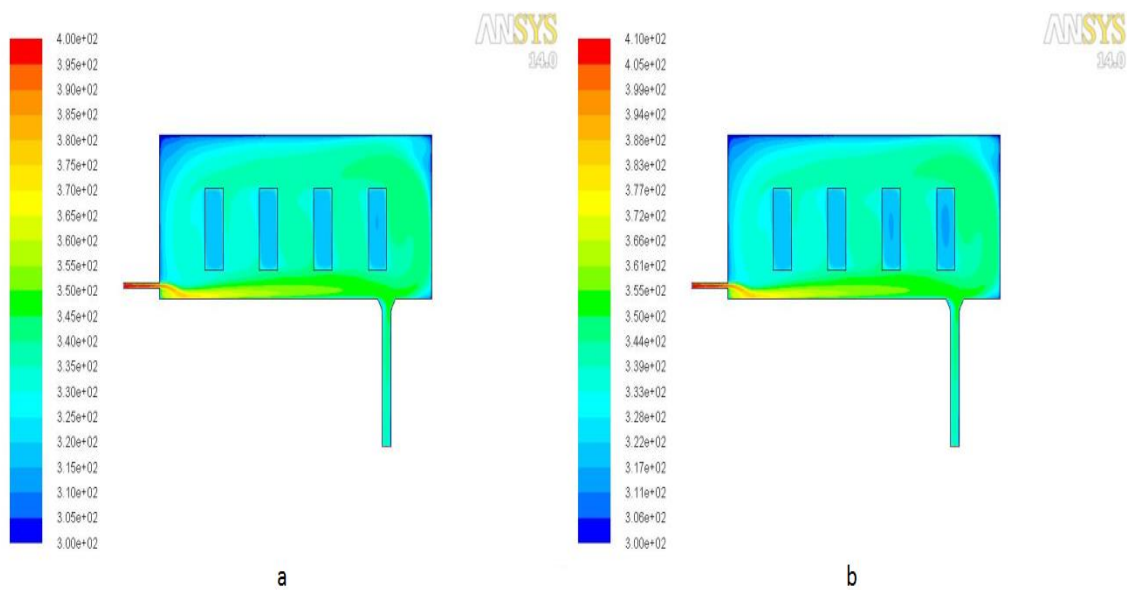
Buna rağmen sıcaklık dağılımları yönünden bakıldığında; su buharı ile yapılan analizlerin, hava akışkanı ile yapılan analizlere göre fırın içi daha homojen bir sıcaklık dağılımı sağladığı görülür.

## 6.2.2 Akışkanın Giriş Sıcaklığı

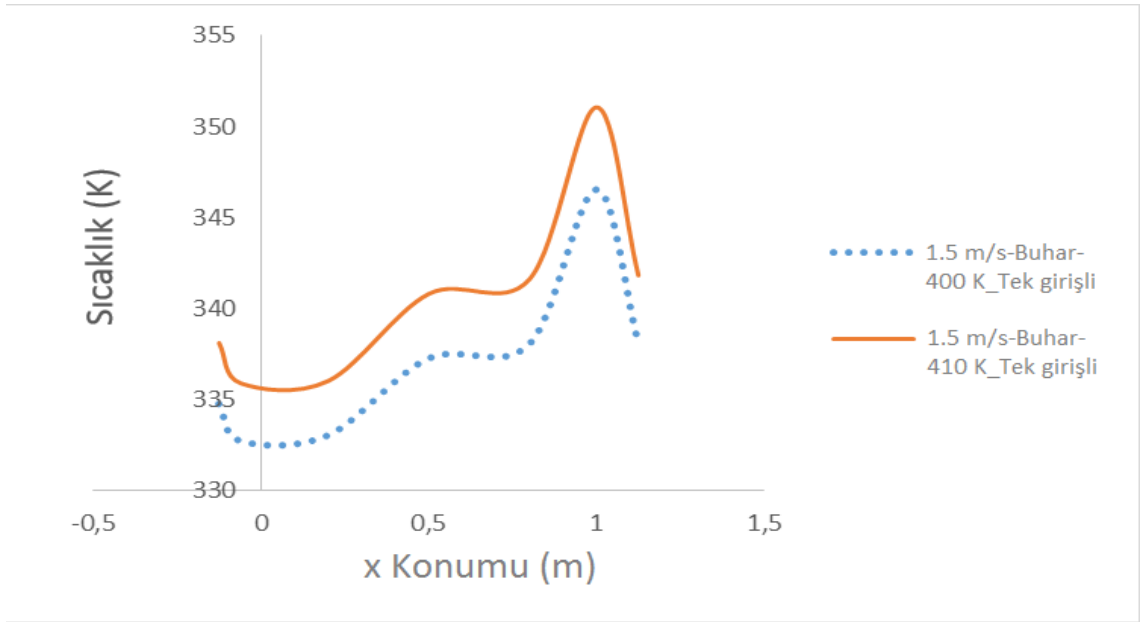
Akışkan giriş sıcaklığı olarak; 400 K ve 410 K kıyaslaması yapılmıştır. Bu kıyaslamada 3 farklı analiz çifti incelenmiştir:

- 1.5 m/s- Buhar- 400 K ve 1.5 m/s- Buhar- 410 K
- 3 m/s- Buhar- 400 K ve 3 m/s- Buhar- 410 K
- 4.5 m/s- Buhar- 400 K ve 4.5 m/s- Buhar- 410 K

### 6.2.2.1 400 K- 410 K Karşılaştırması (1.5 m/s, Buhar)

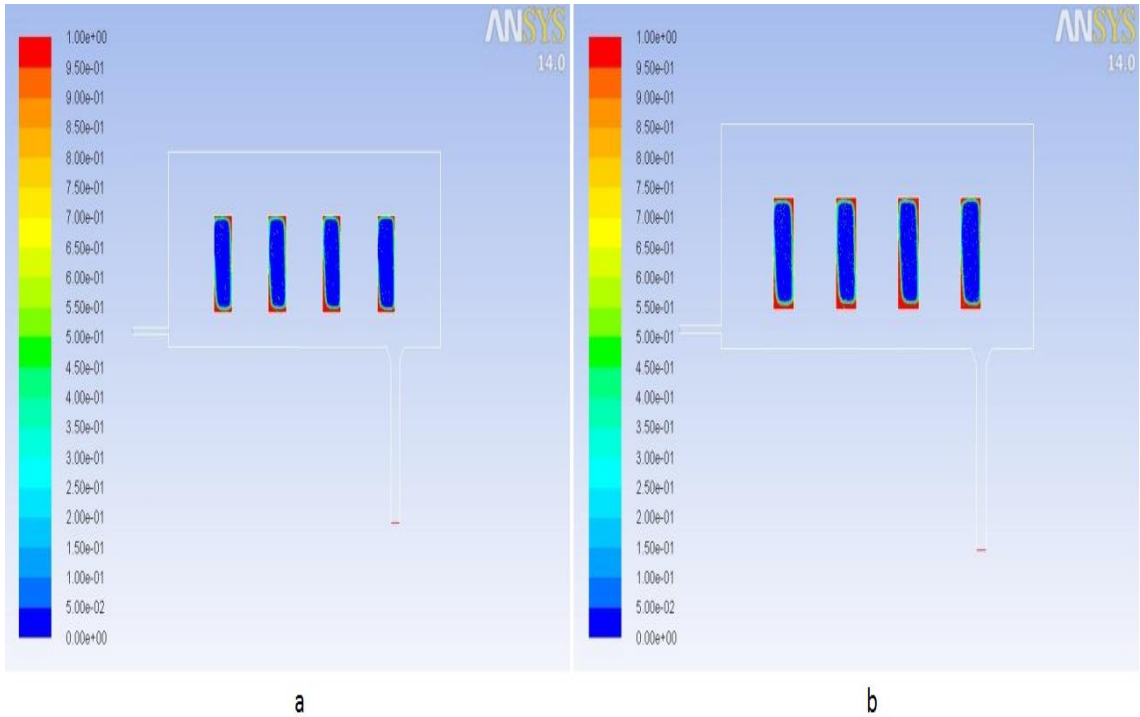


Şekil 6. 18 a. 1.5 m/s- Buhar- 400 K b. 1.5 m/s- Buhar- 410 K sıcaklık dağılımları

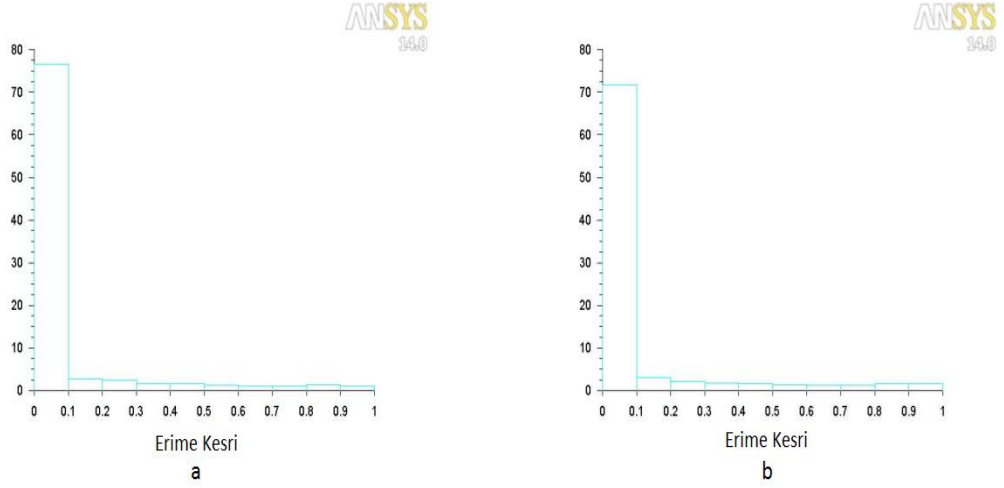


Şekil 6. 19 1.5 m/s- Buhar- 400 K ve 1.5 m/s- Buhar- 410 K sıcaklık dağılım grafiği

Sıcaklık dağılımlarına bakıldığında (Şekil 6.18); 400 K giriş sıcaklığı ile yapılan analizdeki dağılımın, 410 K giriş sıcaklığı ile benzerlik gösterdiği görülür. Sıcaklık dağılım grafiğine bakıldığında (Şekil 6.19); seçilen noktalardaki sıcaklık farkının benzer olduğu (13-16 °C) ve 400 K ile yapılan analizdeki sıcaklık dalgalanmalarının, 410 K ile benzerlik gösterdiği söylenebilir.



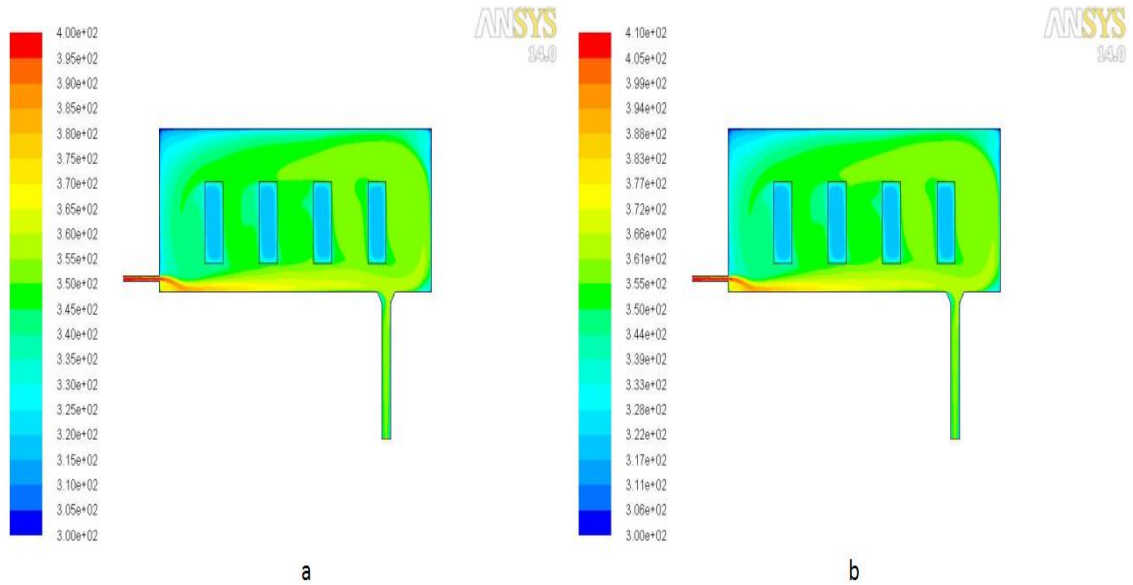
Şekil 6. 20 a. 1.5 m/s- Buhar- 400 K b. 1.5 m/s- Buhar- 410 K erime karakteristikleri



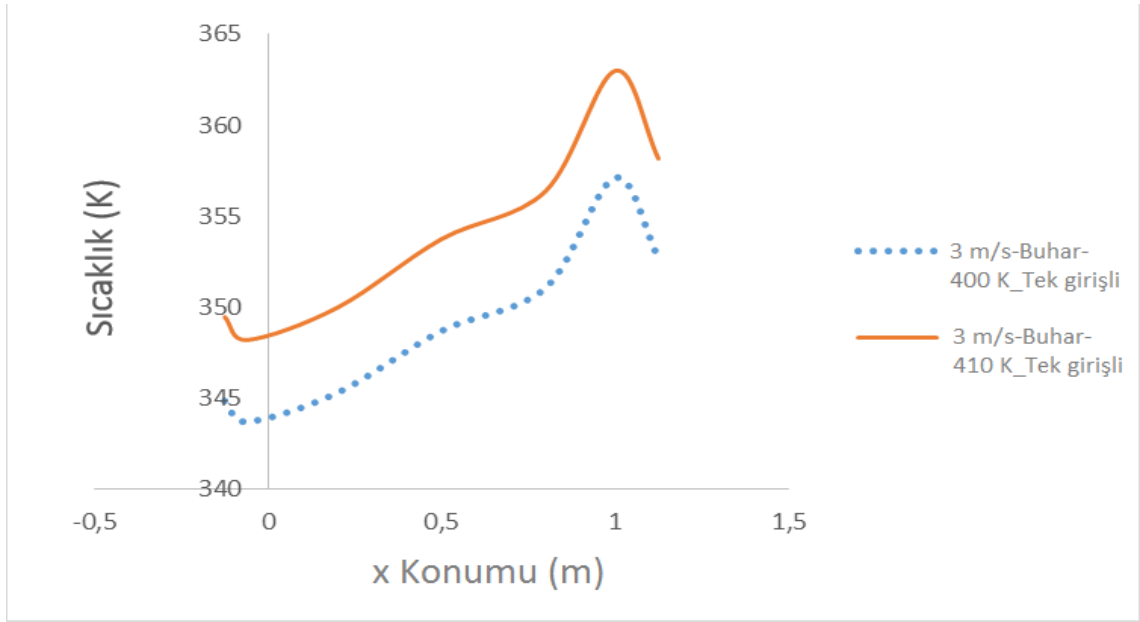
Şekil 6. 21 a. 1.5 m/s- Buhar- 400 K b. 1.5 m/s- Buhar- 410 K erime karakteristiği histogramı

Erime karakteristiklerine bakıldığında (Şekil 6.20); 410 K giriş sıcaklığı ile yapılan analizdeki mumların erime karakteristiklerinin 400 K giriş sıcaklığı ile yapılanaya göre daha iyi olduğu görülür. Histogramlara bakıldığında (Şekil 6.21); 410 K için, erime kesri 0 ila 0.1 arasındaki elementlerin yüzdesinin (%72), 400 K'e göre (%76) daha az olduğu; diğer erime kesirlerindeki elementlerin yüzdesi ise 400 K'e göre daha fazla olduğu görülür. Bunun anlamı; 410 K ile yapılan analizdeki mumların erime karakteristiği, 400 K ile yapılanaya göre daha iyidir.

#### 6.2.2.2 400 K- 410 K Karşılaştırması (3 m/s, Buhar)

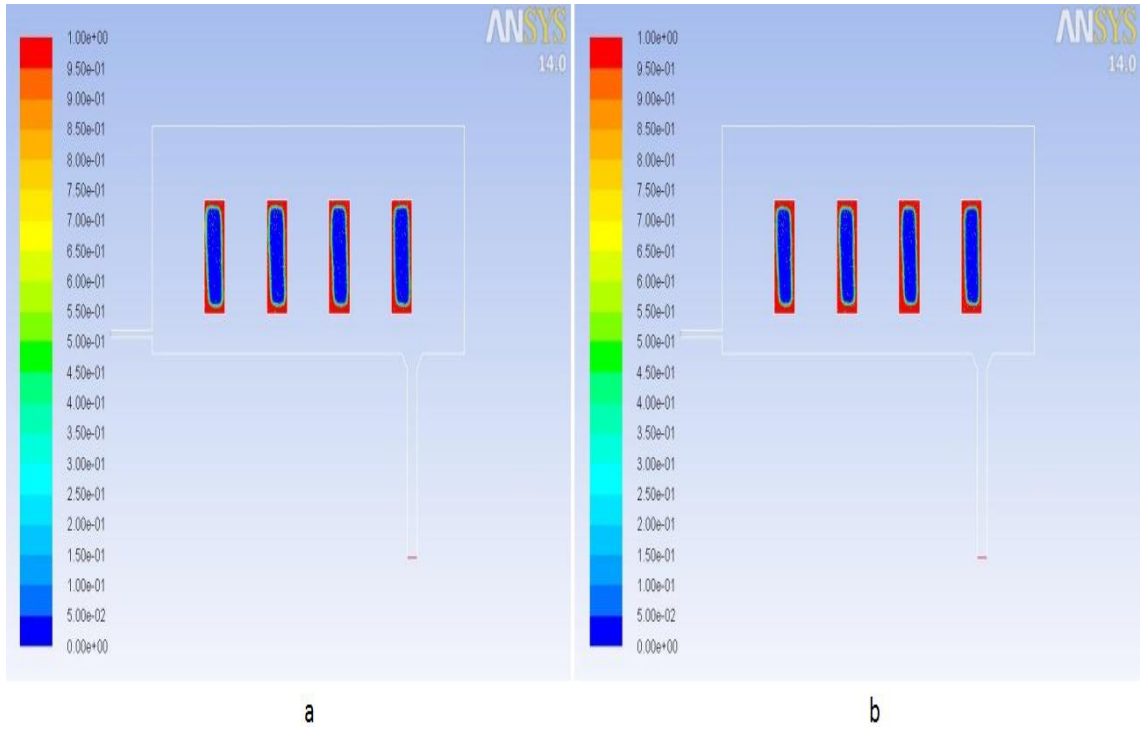


Şekil 6. 22 a. 3 m/s- Buhar- 400 K b. 3 m/s- Buhar- 410 K sıcaklık dağılımları

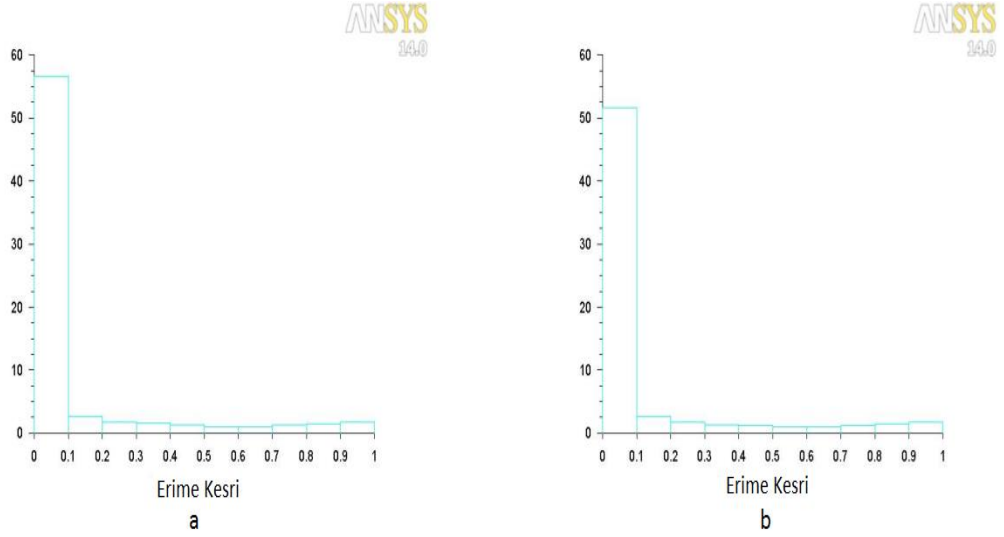


Şekil 6. 23 3 m/s- Buhar- 400 K ve 3 m/s- Buhar- 410 K sıcaklık dağılım grafiği

Sıcaklık dağılımlarına bakıldığında (Şekil 6.22); 400 K giriş sıcaklığı ile yapılan analizdeki dağılımın, 410 K giriş sıcaklığı ile benzerlik gösterdiği görülür. Sıcaklık dağılım grafiğine bakıldığında (Şekil 6.23); seçilen noktadaki sıcaklık farkının benzer olduğu (12-15 °C) ve 400 K ile yapılan analizdeki sıcaklık dalgalanmalarının, 410 K ile benzerlik gösterdiği söylenebilir.

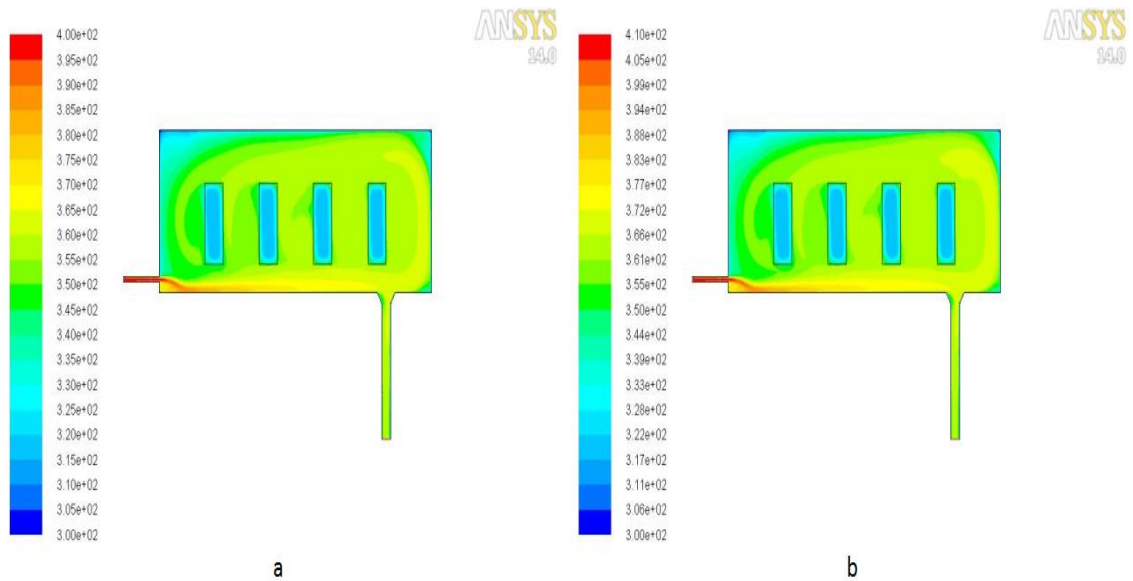


Şekil 6. 24 a. 3 m/s- Buhar- 400 K b. 3 m/s- Buhar- 410 K erime karakteristikleri



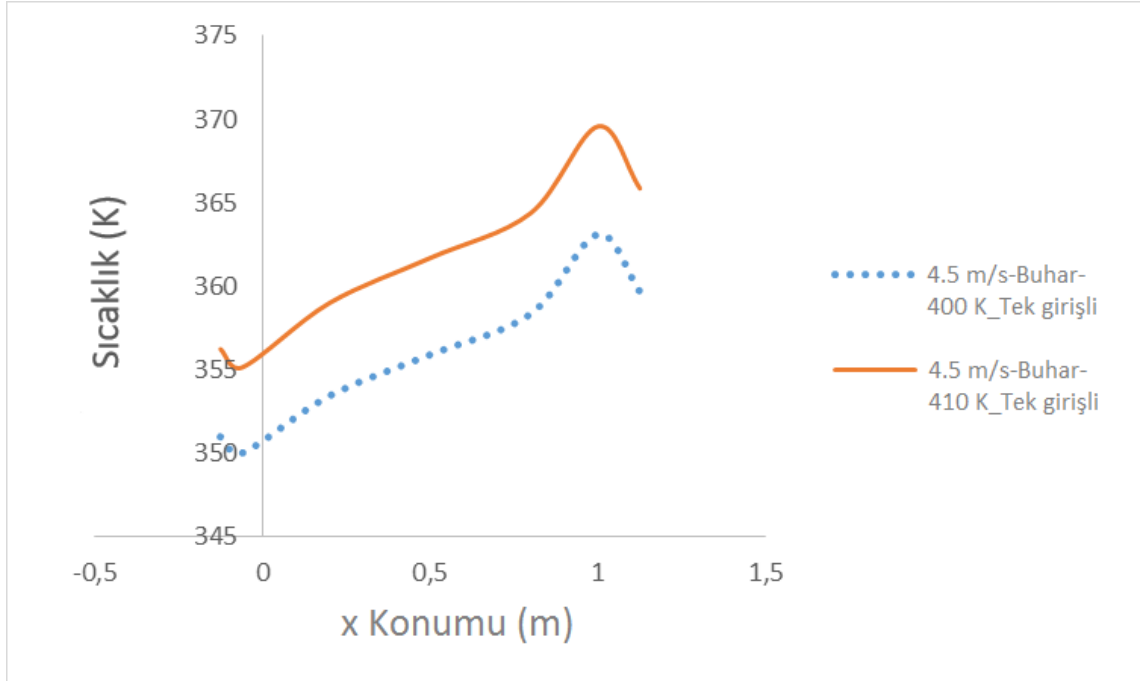
Şekil 6. 25 a. 3 m/s- Buhar- 400 K b. 3 m/s- Buhar- 410 K erime karakteristiği histogramı Erime karakteristiklerine bakıldığında (Şekil 6.24); 410 K giriş sıcaklığı ile yapılan analizdeki mumların erime karakteristiklerinin 400 K giriş sıcaklığı ile yapılanına göre daha iyi olduğu görülür. Histogramlara bakıldığında (Şekil 6.25); 410 K için, erime kesri 0 ila 0.1 arasındaki elementlerin yüzdesinin (%51), 400 K'e göre (%56) daha az olduğu; diğer erime kesirlerindeki elementlerin yüzdesi ise 400 K'e göre daha fazla olduğu görülür. Bunun anlamı; 410 K ile yapılan analizdeki mumların erime karakteristiği, 400 K ile yapılanına göre daha iyidir.

### 6.2.2.3 400 K- 410 K Karşılaştırması (4.5 m/s, Buhar)



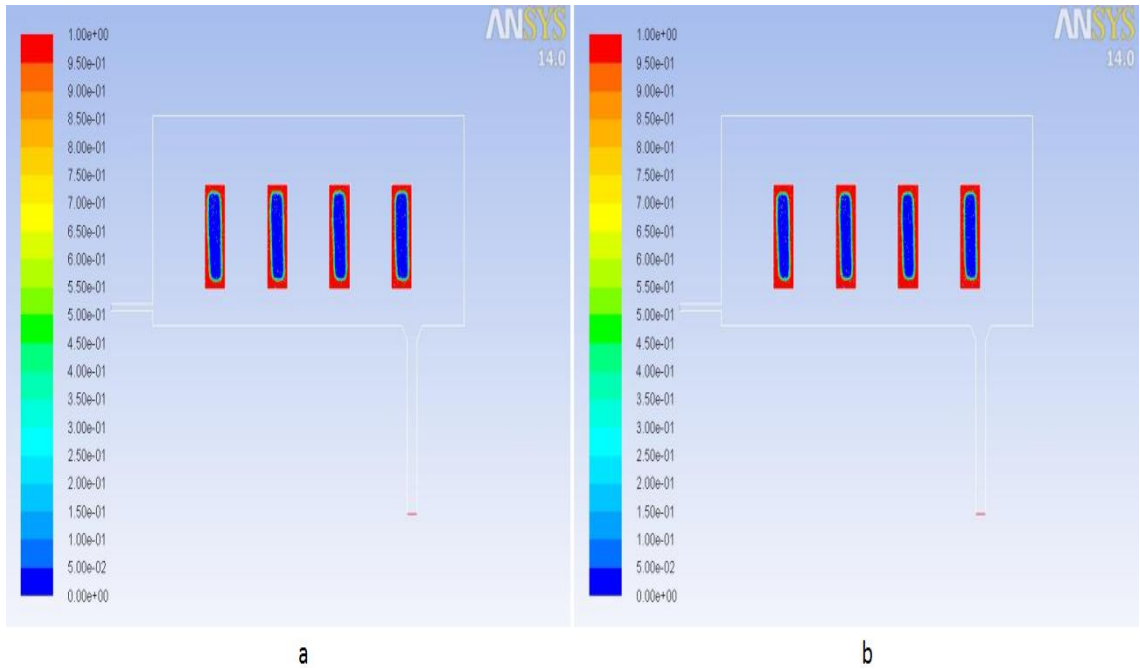
Şekil 6. 26 a. 4.5 m/s- Buhar- 400 K b. 4.5 m/s- Buhar- 410 K sıcaklık dağılımları



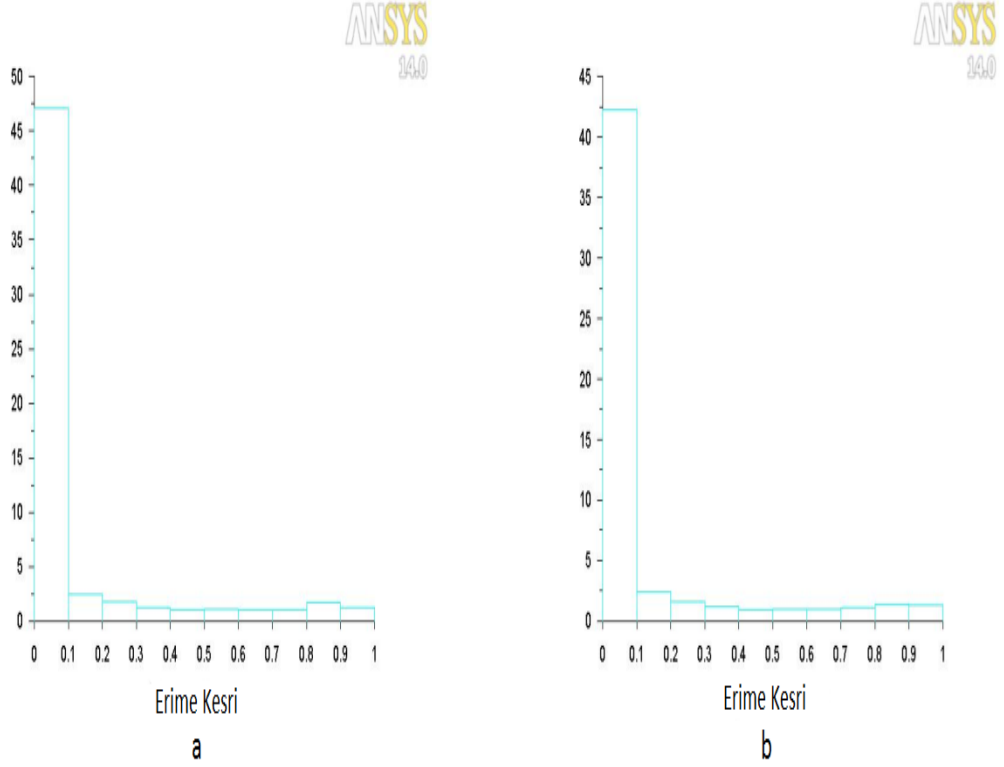


Şekil 6. 27 4.5 m/s- Buhar- 400 K ve 4.5 m/s- Buhar- 410 K sıcaklık dağılım grafiği

Sıcaklık dağılımlarına bakıldığında (Şekil 6.26); 400 K giriş sıcaklığı ile yapılan analizdeki dağılımın, 410 K giriş sıcaklığı ile benzerlik gösterdiği görülür. Sıcaklık dağılım grafiğine bakıldığında (Şekil 6.27); seçilen noktalardaki sıcaklık farkının benzer olduğu (12-15 °C) ve 400 K ile yapılan analizdeki sıcaklık dalgalanmalarının, 410 K ile benzerlik gösterdiği söylenebilir.



Şekil 6. 28 a. 4.5 m/s- Buhar- 400 K b. 4.5 m/s- Buhar- 410 K erime karakteristikleri



Şekil 6. 29 a. 4.5 m/s- Buhar- 400 K b. 4.5 m/s- Buhar- 410 K erime karakteristiği histogramı

Erime karakteristiklerine bakıldığında (Şekil 6.28); 410 K giriş sıcaklığı ile yapılan analizdeki mumların erime karakteristiklerinin 400 K giriş sıcaklığı ile yapılanaya göre daha iyi olduğu görülür. Histogramlara bakıldığında (Şekil 6.29); 410 K için, erime kesri 0 ila 0.1 arasındaki elementlerin yüzdesinin (%43), 400 K'e göre (%47) daha az olduğu; diğer erime kesirlerindeki elementlerin yüzdesi ise 400 K'e göre daha fazla olduğu görülür. Bunun anlamı; 410 K ile yapılan analizdeki mumların erime karakteristiği, 400 K ile yapılanaya göre daha iyidir.

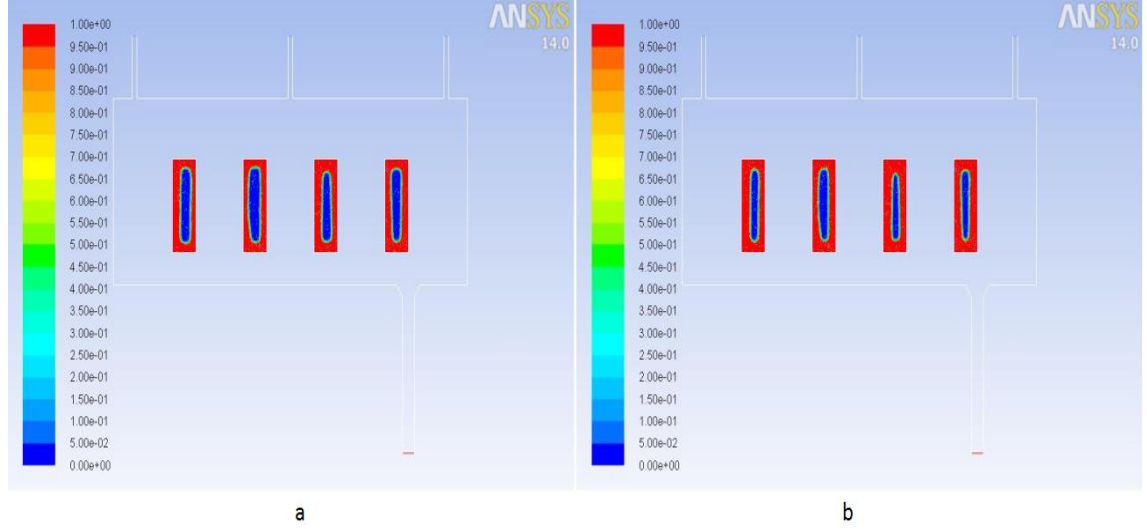
Bu 3 farklı analiz çifti sıcaklık dağılımları yönünden bakıldığında; 400 K giriş sıcaklığı ile yapılan analizlerin 410 K giriş sıcaklığı ile yapılan analizler ile benzerlik gösterdiği söylenebilir.

Buna rağmen, 410 K giriş sıcaklığı ile yapılan analizlerdeki mumlar, 400 K giriş sıcaklığı ile yapılan analizlerdeki mumlara göre daha iyi erime karakteristiği göstermiştir.

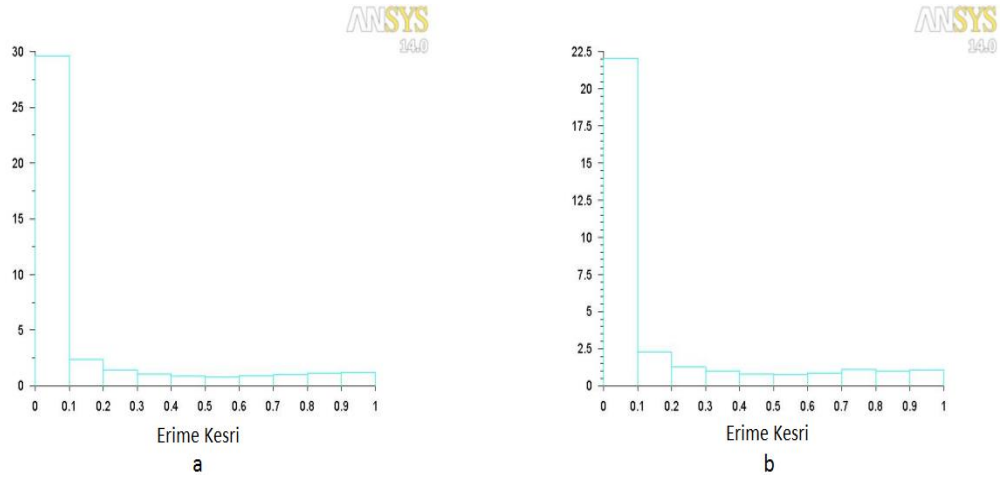
Bu analizlere ek olarak sıcaklığın, erime karakteristikleri üzerindeki etkisinin daha iyi anlaşılabilmesi için;

- 3 m/s- Buhar- 410 K- 3 girişli ve 3 m/s- Buhar- 430 K- 3 girişli

kıyaslaması da yapılmıştır.



Şekil 6. 30 a. 3 m/s- Buhar- 410 K- 3 girişli b. 3 m/s- Buhar- 430 K- 3 girişli erime karakteristikleri



Şekil 6. 31 a. 3 m/s- Buhar- 410 K- 3 girişli b. 3 m/s- Buhar- 430 K- 3 girişli erime karakteristiği histogramı

Erime karakteristiklerine bakıldığında (Şekil 6.30); 430 K giriş sıcaklığı ile yapılan analizdeki mumların erime karakteristiklerinin 410 K giriş sıcaklığı ile yapılanaya göre daha iyi olduğu görülür. Histogramlara bakıldığında (Şekil 6.31); 430 K için, erime kesri 0 ila 0.1 arasındaki elementlerin yüzdesinin (%22), 410 K'e göre (%29) daha az olduğu;

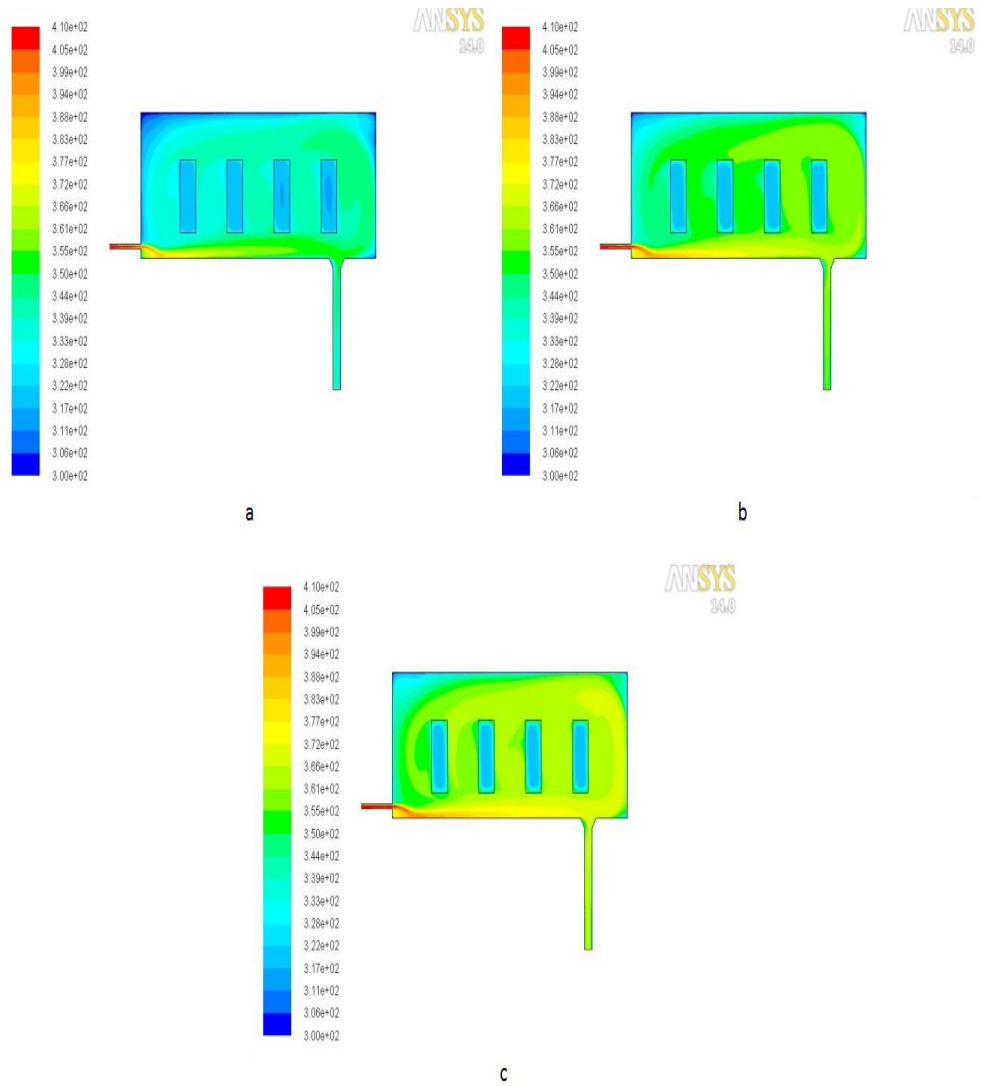
diğer erime kesirlerindeki elementlerin yüzdesi ise 410 K'e göre daha fazla olduğu görülür. Bunun anlamı; 430 K ile yapılan analizdeki mumların erime karakteristiği, 410 K ile yapılanlara göre daha iyidir.

Görüldüğü üzere; sıcaklık, erime karakteristikleri yönünden önemli bir parametredir.

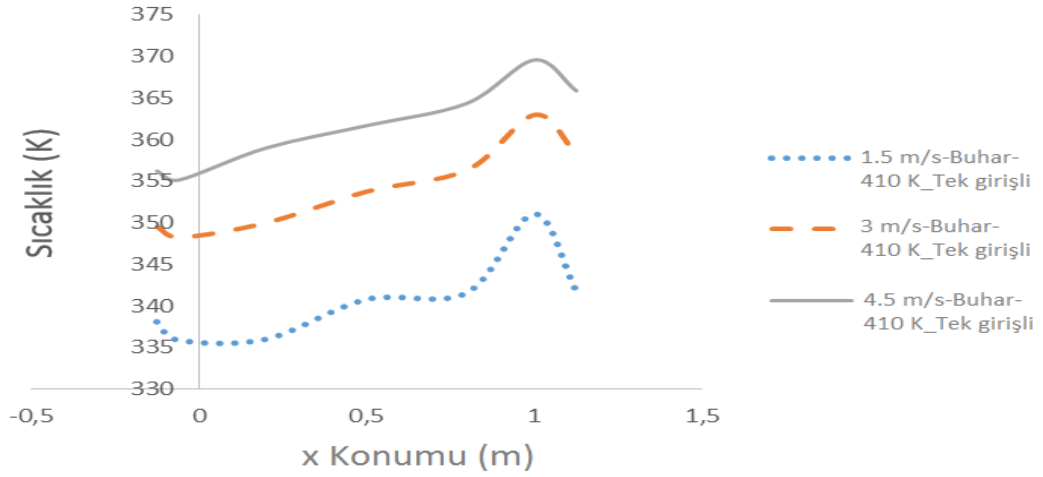
### 6.2.3 Akışkanın Giriş Hızı

Akışkan giriş hızı olarak; 1.5 m/s, 3 m/s ve 4.5 m/s kıyaslaması yapılmıştır. Bu kıyaslamada 3 farklı analiz bir arada incelenmiştir.

#### 6.2.3.1 1.5 m/s- 3 m/s- 4.5 m/s Karşılaştırması (410 K, Buhar)

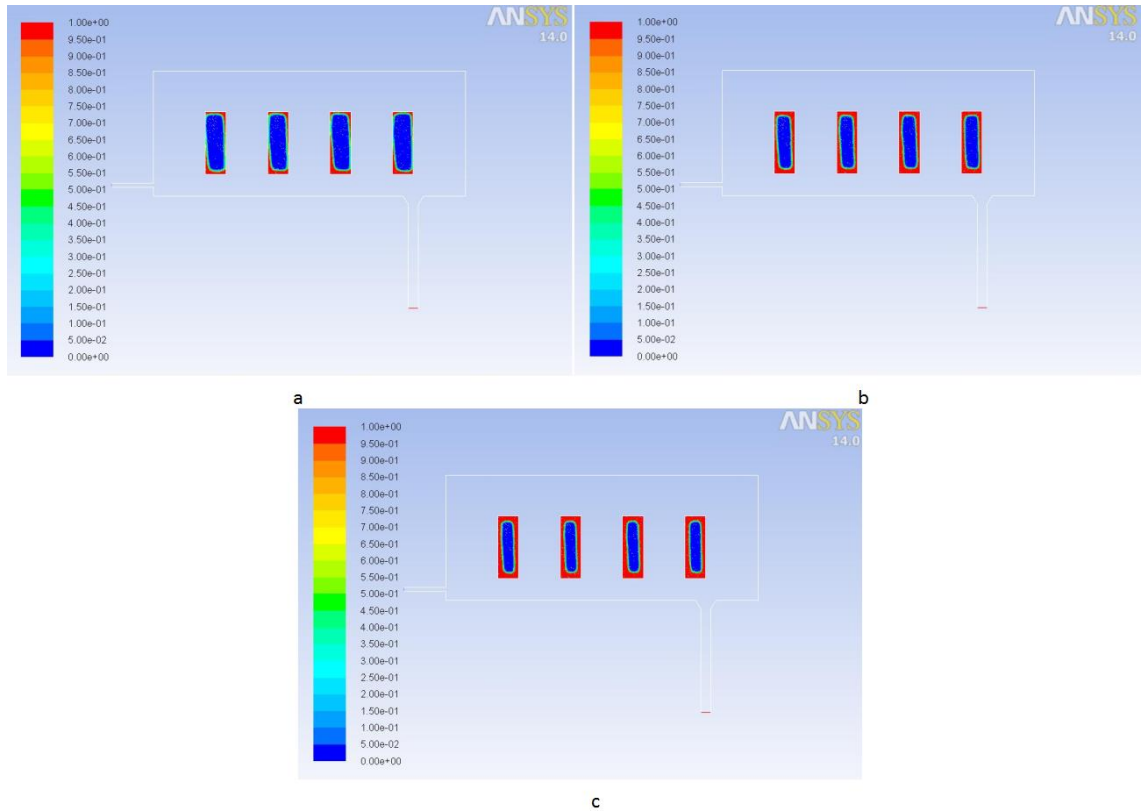


Şekil 6. 32 a. 1.5 m/s- Buhar- 410 K b. 3 m/s- Buhar- 410 K c. 4.5 m/s- Buhar- 410 K sıcaklık dağılımları

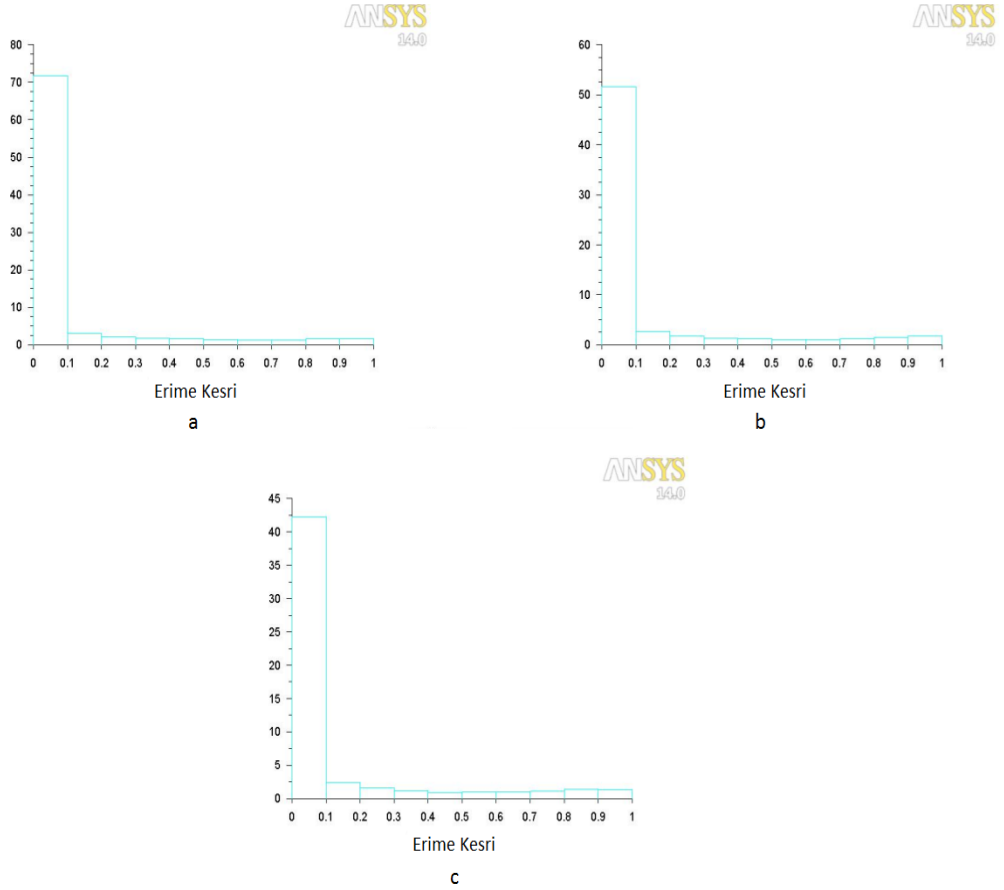


Şekil 6. 33 1.5 m/s- Buhar- 410 K , 3 m/s- Buhar- 410 K ve 4.5 m/s- Buhar- 410 K sıcaklık dağılım grafiği

Sıcaklık dağılımlarına bakıldığında (Şekil 6.32); 1.5 m/s, 3 m/s ve 4.5 m/s ile yapılan analizlerdeki dağılımın, birbirleri ile benzerlik gösterdiği görülür. Sıcaklık dağılım grafiğine bakıldığında (Şekil 6.33); seçilen noktalardaki sıcaklık farkının benzer olduğu (15 °C) ve giriş hızının artmasıyla fırın içi sıcaklıkların arttığı söylenebilir.



Şekil 6. 34 a. 1.5 m/s- Buhar- 410 K b. 3 m/s- Buhar- 410 K c. 4.5 m/s- Buhar- 410 K erime karakteristikleri



Şekil 6. 35 a. 1.5 m/s- Buhar- 410 K b. 3 m/s- Buhar- 410 K c. 4.5 m/s- Buhar- 410 K erime karakteristiği histogramı

Erime karakteristiklerine bakıldığında (Şekil 6.34); giriş hızının artmasıyla analizdeki mumların erime karakteristiklerinin daha iyi olduğu görülür. Histogramlara bakıldığında (Şekil 6.35); 1.5 m/s için, erime kesri 0 ile 0.1 arasındaki elementlerin yüzdesi %71, 3 m/s için %51 ve 4.5 m/s için %43 olarak gittikçe azaldığı; diğer erime kesirlerindeki elementlerin yüzdesi ise giriş hızının artmasıyla daha fazla olduğu görülür. Bunun anlamı; daha yüksek giriş hızları ile yapılan analizdeki mumların erime karakteristiği, daha düşük hızlarla yapılanlara göre daha iyidir.

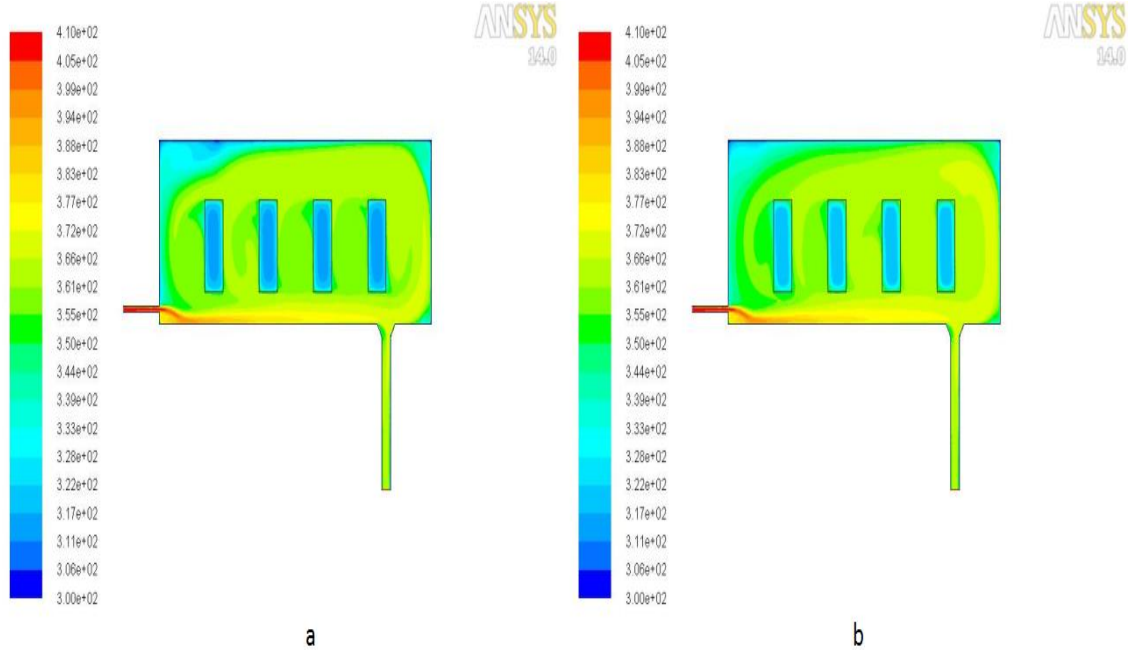
Bir arada incelenen bu 3 farklı analizde; giriş hızının artması, fırın içi ortalama sıcaklıkları arttırmış, fakat sıcaklık dağılımları yönünden benzerlik göstermiştir.

Bununla birlikte; giriş hızı arttıkça, mumlar daha iyi erime karakteristiği göstermiştir.

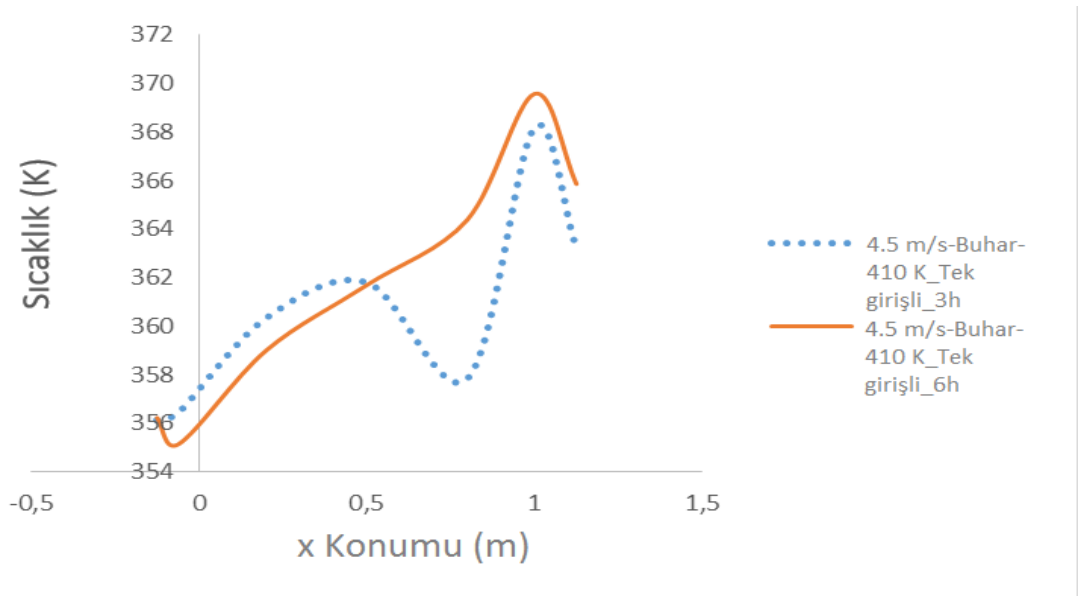
## 6.2.4 Proses Süresi

Proses süresi olarak; 3 saat ve 6 saat sonundaki analiz sonuçlarının kıyaslaması yapılmıştır. Bu kıyaslamada aynı parametreler ile yapılan bir analiz, farklı proses süreleri ile incelenmiştir.

### 6.2.4.1 3 Saat- 6 Saat Karşılaştırması (4.5 m/s, 410 K, Buhar)

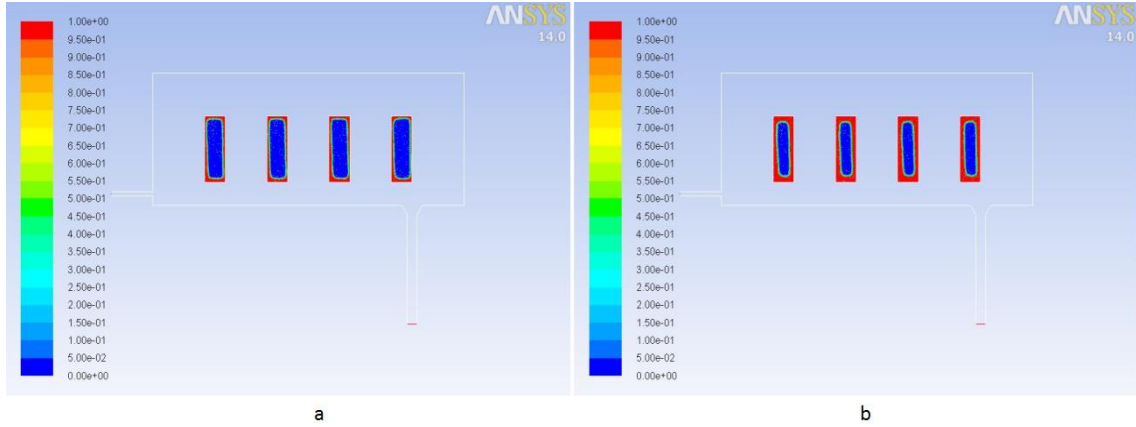


Şekil 6. 36 a. 4.5 m/s- Buhar- 410 K- 3 h b. 4.5 m/s- Buhar- 410 K- 6 h sıcaklık dağılımları

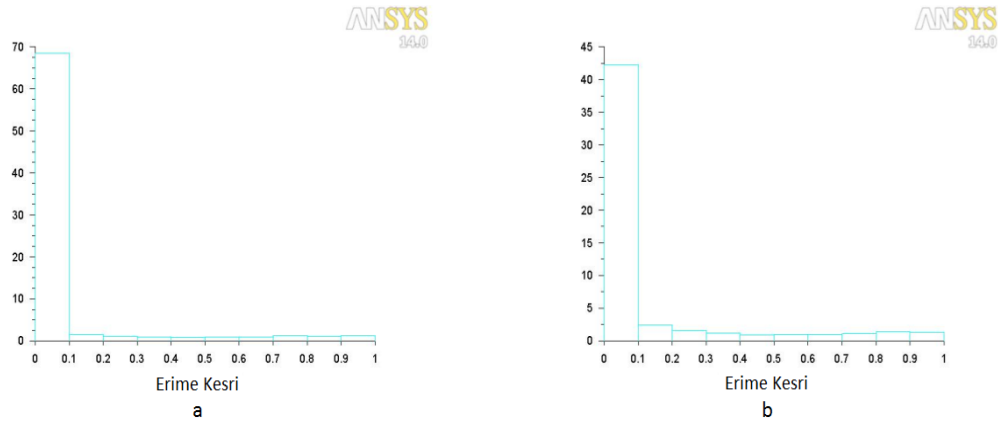


Şekil 6. 37 4.5 m/s- Buhar- 410 K- 3 h ve 4.5 m/s- Buhar- 410 K- 6 h sıcaklık dağılım grafiği

Sıcaklık dağılımlarına bakıldığında (Şekil 6.36); 6 saat sonundaki sıcaklık dağılımının, 3 saat sonundaki dağılımına göre daha düzgün olduğu görülür. Sıcaklık dağılım grafiğine bakıldığında (Şekil 6.37); seçilen noktadaki sıcaklık farkının benzer olduğu (10-15 °C), fakat 6 saat sonundaki sıcaklık dalgalanmalarının, 3 saat sonundakine göre daha az olduğu söylenebilir. Bu da daha üniform bir sıcaklık dağılımının göstergesidir.



Şekil 6. 38 a. 4.5 m/s- Buhar- 410 K- 3 h b. 4.5 m/s- Buhar- 410 K- 6 h erime karakteristikleri



Şekil 6. 39 a. 4.5 m/s- Buhar- 410 K- 3 h b. 4.5 m/s- Buhar- 410 K- 6 h erime karakteristiği histogramı

Erime karakteristiklerine bakıldığında (Şekil 6.38); 6 saat sonundaki mumların erime karakteristiklerinin 3 saat sonundakine göre daha iyi olduğu görülür. Histogramlara bakıldığında (Şekil 6.39); 6 saat proses süresi için, erime kesri 0 ila 0.1 arasındaki elementlerin yüzdesinin (%42), 3 saattekine göre (%68) daha az olduğu; diğer erime kesirlerindeki elementlerin yüzdesi ise 3 saattekine göre daha fazla olduğu görülür. Bunun anlamı; 6 saat sonunda analizdeki mumların erime karakteristiği, 3 saat sonundakine göre daha iyidir.

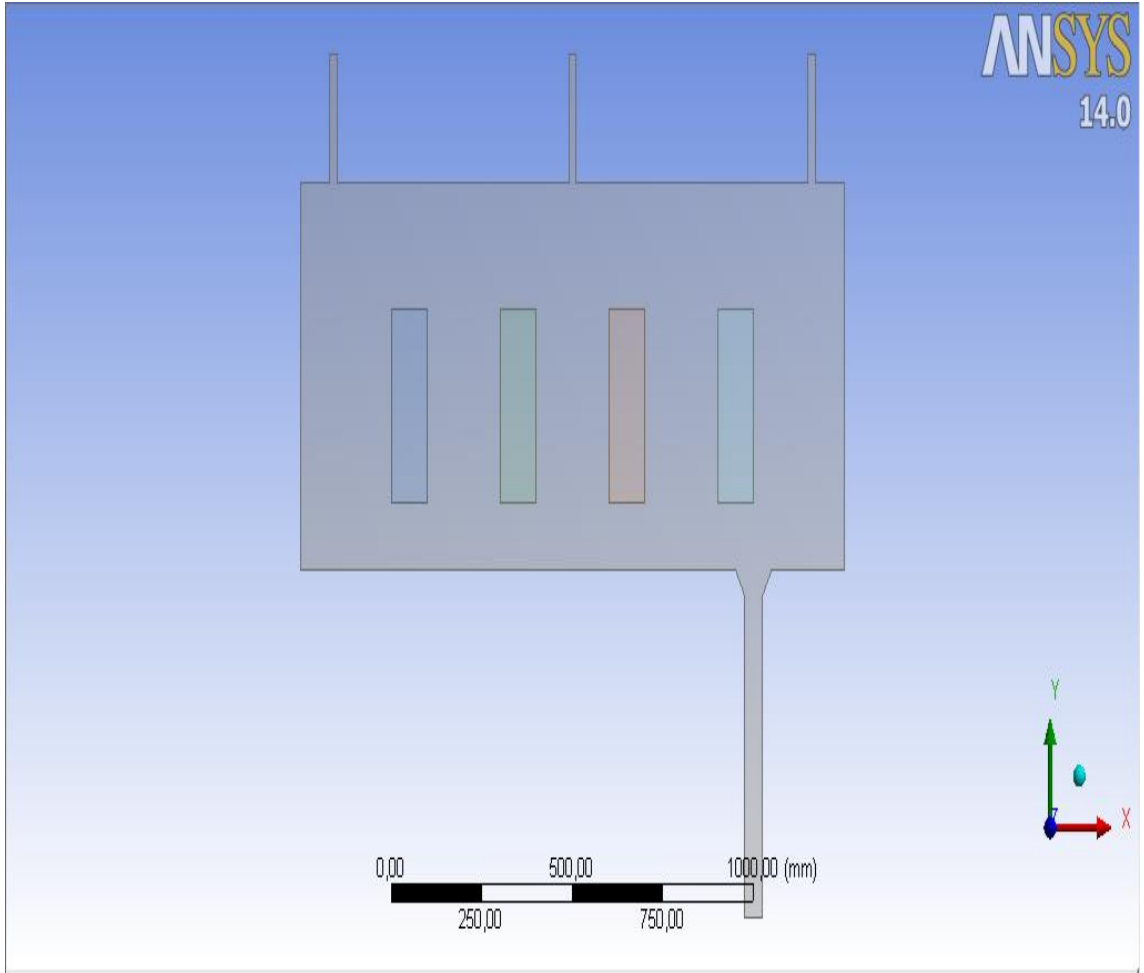


3 saat ve 6 saat proses süreli analiz sonuçları karşılaştırıldığında; 6 saat sonundaki sıcaklık dağılımı, 3 saat sonundaki sıcaklık dağılımına göre daha homojen bir yapı göstermiştir.

Ayrıca, 6 saat proses süresi sonundaki mumlar, 3 saat proses süresi sonundaki mumlara göre daha iyi erime karakteristiği göstermiştir.

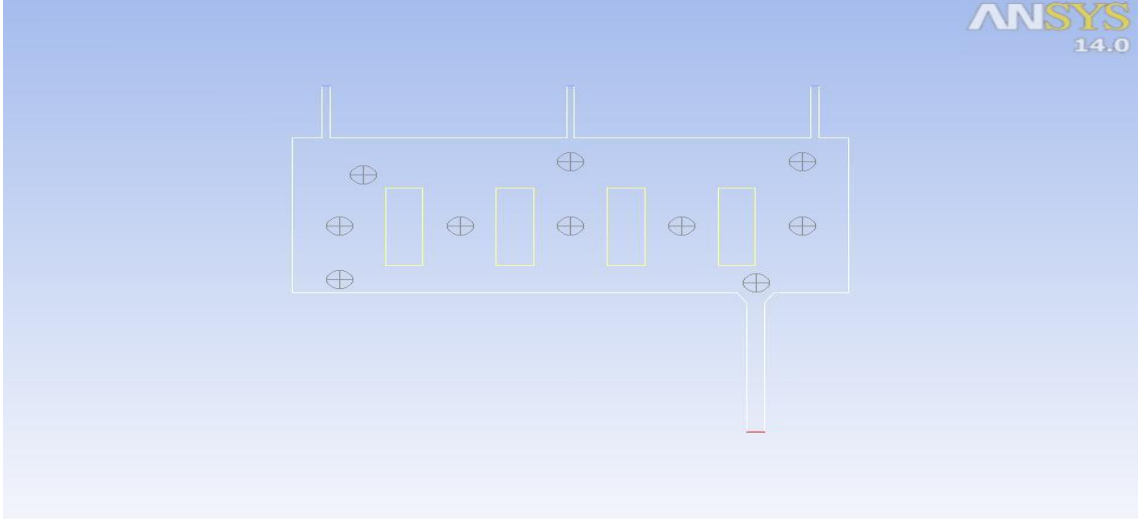
### 6.2.5 Fırın Geometrisi

Fırın geometrisi olarak; tek girişli ve 3 girişli fırın kıyaslaması yapılmıştır. Tek girişli fırından farklı olarak, 3 girişli fırında dikey konumlandırılmış 3 adet giriş vardır (Şekil 6.40).



Şekil 6. 40 3 girişli otoklav fırını geometrisi

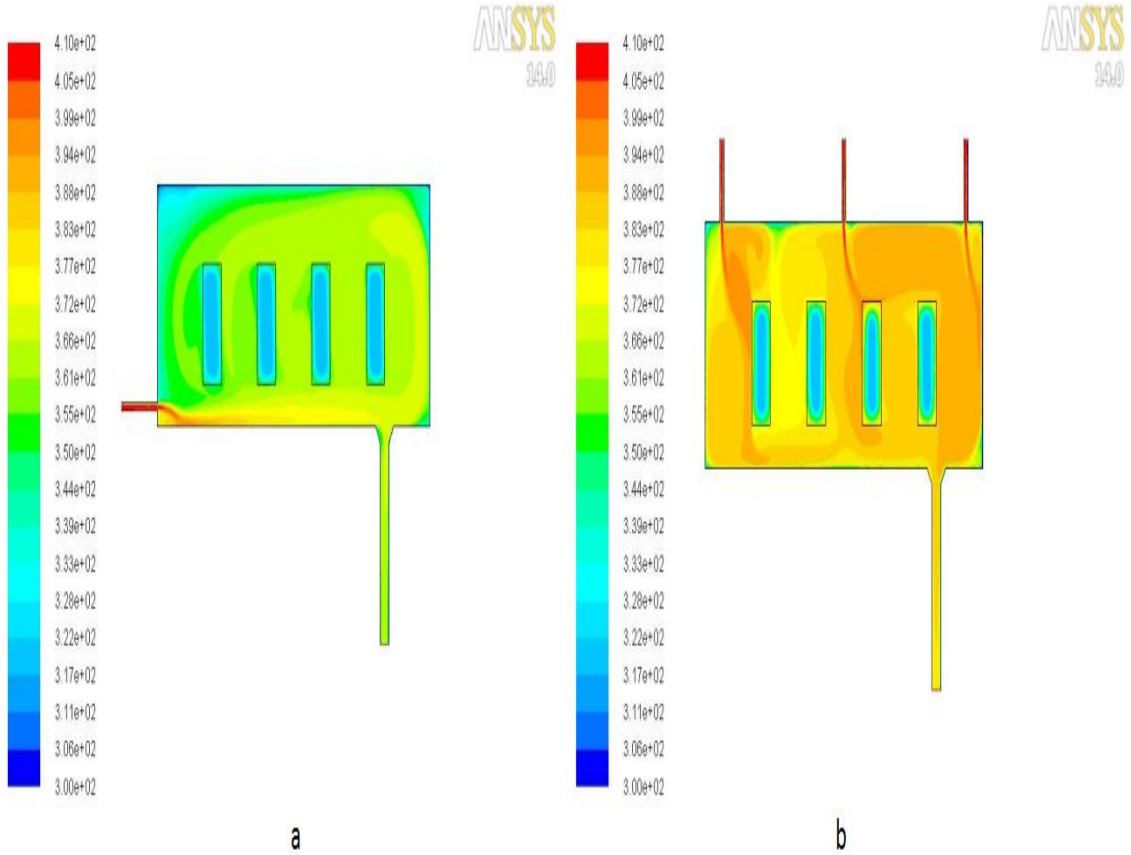
Aynı şekilde, 3 girişli fırın içerisinde de daha önce belirlenen 10 farklı nokta esas alınarak sıcaklık dağılımları kıyaslanmıştır (Şekil 6.41).



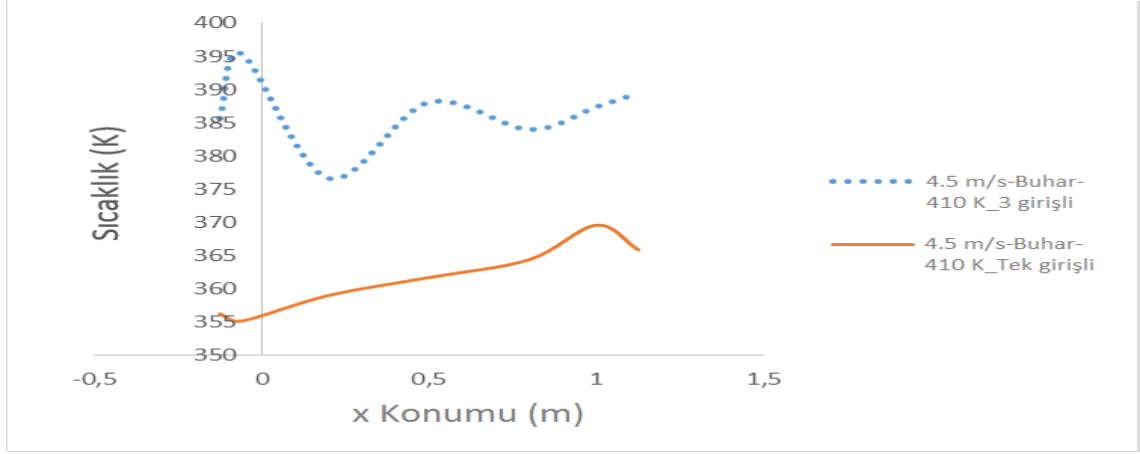
Şekil 6. 41 3 girişli fırın içerisinde belirlenen 10 nokta

Bu kıyaslamada aynı parametreler ile yapılan bir analiz, farklı fırın geometrileri kullanılarak incelenmiştir.

### 6.2.5.1 Tek Girişli- 3 Girişli Karşılaştırması (4.5 m/s, 410 K, Buhar)

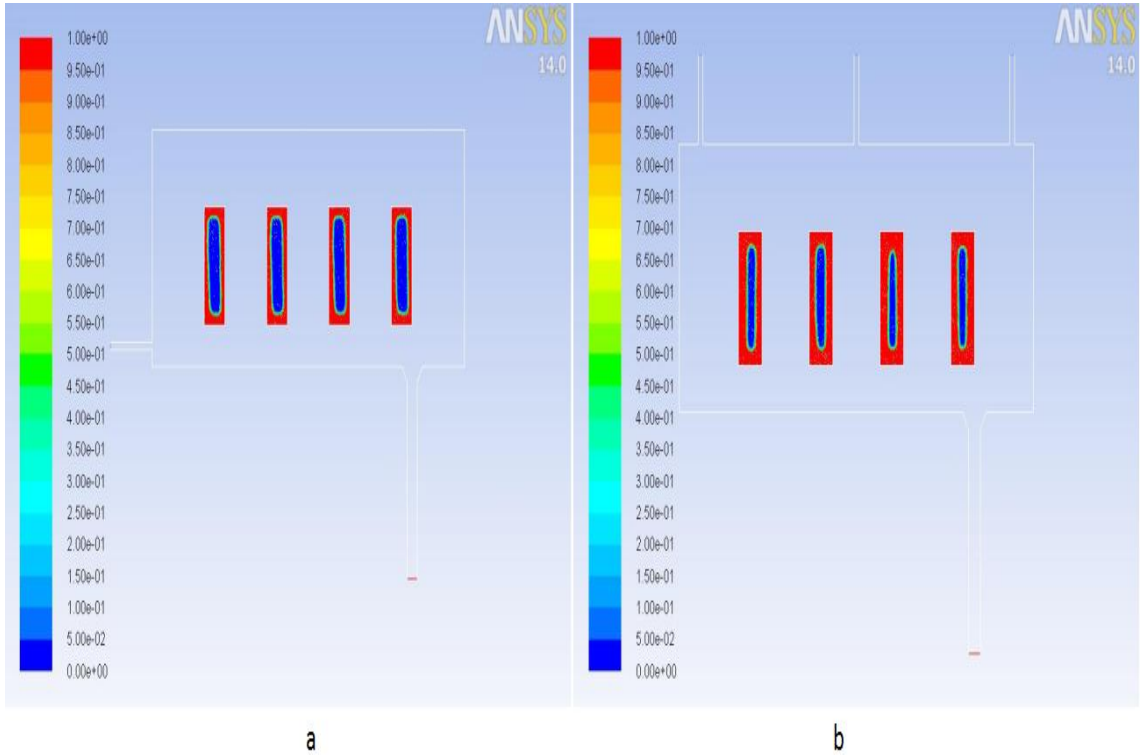


Şekil 6. 42 a. 4.5 m/s- Buhar- 410 K- Tek girişli b. 4.5 m/s- Buhar- 410 K- 3 girişli sıcaklık dağılımları

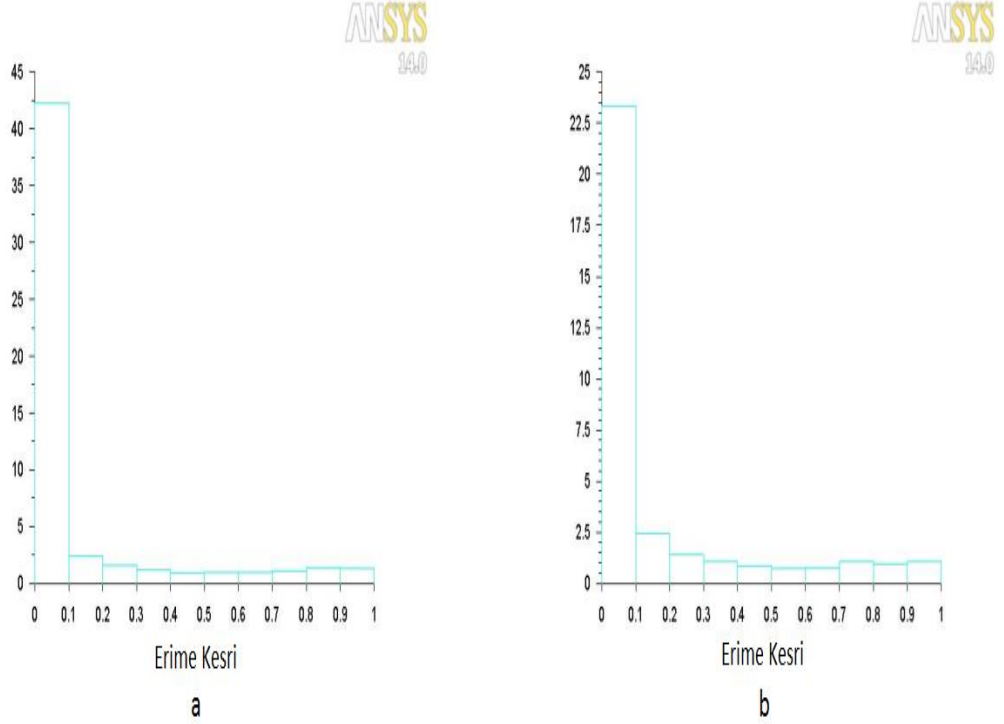


Şekil 6. 43 4.5 m/s- Buhar- 410 K- Tek girişli ve 4.5 m/s- Buhar- 410 K- 3 girişli sıcaklık dağılım grafiği

Sıcaklık dağılımlarına bakıldığında (Şekil 6.42); tek girişli fırın geometrisi ile yapılan analizdeki dağılımın, 3 girişli ile yapılan analize göre daha düzgün olduğu görülür. Sıcaklık dağılım grafiğine bakıldığında (Şekil 6.43); seçilen noktadaki sıcaklık farkının benzer olduğu (15-18 °C), fakat tek girişlideki sıcaklık dalgalanmalarının, 3 girişlidekine göre daha az olduğu söylenebilir. Bu da daha üniform bir sıcaklık dağılımının göstergesidir.



Şekil 6. 44 a. 4.5 m/s- Buhar- 410 K- Tek girişli b. 4.5 m/s- Buhar- 410 K- 3 girişli erime karakteristikleri



Şekil 6. 45 a. 4.5 m/s- Buhar- 410 K- Tek girişli b. 4.5 m/s- Buhar- 410 K- 3 girişli erime karakteristiği histogramı

Erime karakteristiklerine bakıldığında (Şekil 6.44); 3 girişli fırın geometrisi ile yapılan analizdeki mumların erime karakteristiklerinin tek girişlidekine göre daha iyi olduğu görülür. Histogramlara bakıldığında (Şekil 6.45); 3 girişli için, erime kesri 0 ila 0.1 arasındaki elementlerin yüzdesinin (%24), tek girişliye göre (%43) daha az olduğu; diğer erime kesirlerindeki elementlerin yüzdesi ise tek girişliye göre daha fazla olduğu görülür. Bunun anlamı; 3 girişli ile yapılan analizdeki mumların erime karakteristiği, tek girişli ile yapılanaya göre daha iyidir.

Tek girişli ile 3 girişli fırın geometrisi karşılaştırıldığında; 3 girişli ile yapılan analizlerdeki mumlar, tek girişli ile yapılan analizlerdeki mumlara göre daha iyi erime karakteristiği göstermiştir.

Buna rağmen, sıcaklık dağılımları yönünden bakıldığında; tek girişli fırın geometrisinde yapılan analizlerin, 3 girişli fırın geometrisinde yapılan analizlere göre fırın içi daha homojen bir sıcaklık dağılımı sağladığı görülür.

### 6.3 Önceki Çalışmalar İle Mukayese

Bu sonuçlar ayrıca, daha önceki deneysel çalışmalar ile mukayese edilmiştir:

Hosseini vd. [54] bir faz değişim malzemesi (PCM) olarak RT50 türü parafin mumunun katılma ve erime prosesleri boyunca bir ısı değiştiricisi içindeki ısı davranışlarını ve ısı transfer özelliklerini inceleyen, nümerik ve deneysel incelemenin bir arada bulunduğu bir çalışma yapmıştır. Isı transfer akışkanının (HTF) giriş sıcaklığı artışının, parafinin erime ve katılma prosesleri üzerindeki etkisini araştırmak için bir dizi deney yapmıştır. Isı transfer miktarı ve buna bağlı olarak parafinin erime süresi, akışkanın giriş sıcaklığı ile doğrudan ilgilidir. Bu çalışma gösterir ki, HTF'nin giriş sıcaklığı 80°C'ye yükseltildiğinde toplam erime süresi %37 azalır.

Ranjbar vd. [55] bir ısı değiştiricisi içindeki PCM'lerin erimesi süresince kaldırma kuvveti etkili taşınımın rolünü anlamak amacıyla nümerik ve deneysel incelemenin bir arada bulunduğu bir çalışma yapmıştır. HTF giriş sıcaklığı artışının, PCM'nin erime prosesi üzerindeki etkisini araştırmak için bir dizi deney yapmıştır. Bu hesaplamalar gösterir ki, giriş sıcaklığı 80°C'ye yükseltildiğinde toplam erime süresi %37 azalır. Ayrıca, ısı değiştiricisinden PCM'ye doğru ısı transferi, genel olarak erime bölgesinde doğal taşınım ile etki eder.

Qiu vd. [56] çalışmalarında, ısı enerji depolama sistem destekli kanatlı ısı borunun termal karakteristiklerini nümerik olarak incelemiştir. Buna göre; parafin mumunun erimesi sırasında, doğal taşınımın önemli bir etkisi vardır. Ayrıca; doğal taşınım, parafin mum gibi faz değişim malzemesi içerisindeki sıcaklık dağılımının daha üniform olmasına yardımcı olur.

Mohebbi vd. [57] yaptıkları çalışmada, küresel bir kap içindeki PCM'lerin erimelerinin CFD simülasyonları üzerine odaklanmışlardır. PCM'nin erime sürecini incelemek için, çeşitli zamanlardaki erime kesirleri analiz etmişlerdir. Sonuçların sağlanmasından sonra kapsülün yüzey sıcaklığı, boyutları, ilk sıcaklığı gibi farklı parametrelerin erime prosesi üzerindeki etkilerini incelemiştir. Buna göre, sıcaklık değişimleri; erime hızı, erime süresi ve ısı transfer miktarı üzerinde en belirleyici etkilerdendir.

## BÖLÜM 7

### SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Otoklav fırın içi sıcaklık dağılımını sağlamak ve derecelerin içerisindeki mumun erime karakteristiklerini incelemek için; akışkanın türü (hava, doymuş su buharı), akışkanın giriş sıcaklığı (400 K, 410 K), akışkanın giriş hızı (1.5 m/s, 3 m/s, 4.5 m/s), proses süresi (3h, 6h) ve fırın geometrisi (tek girişli, 3 girişli) parametreleri karşılaştırılmıştır.

Analizlerde; akışkan türü olarak hava akışkanı ile yapılan analizlerdeki mumlar, su buharı ile yapılan analizlerdeki mumlara göre daha iyi erime karakteristiği göstermiştir. Buna rağmen sıcaklık dağılımları yönünden bakıldığında; su buharı ile yapılan analizlerin, hava akışkanı ile yapılan analizlere göre fırın içi daha homojen bir sıcaklık dağılımı sağladığı görülür (Çizelge 7.1).

Çizelge 7. 1 Akışkanın türüne göre karşılaştırma çizelgesi

	1.5 m/s-400 K-Hava	1.5 m/s-400 K-Buhar	3 m/s-400 K-Hava	3 m/s-400 K-Buhar	4.5 m/s-400 K-Hava	4.5 m/s-400 K-Buhar
<i>Sıcaklık farkı</i>	11 °C		12-14 °C		9-13 °C	
<i>Sıcaklık dağılımı</i>		Daha üniform		Daha üniform		Daha üniform
<i>Erime kesri 0 ila 0.1 arasındaki elementlerin yüzdesi</i>	%72	%75	%55	%57	%39	%47
<i>Mumların erime karakteristiği</i>	Daha iyi		Daha iyi		Daha iyi	

Hava ile su buharı karşılaştırmasında, sıcaklık dağılım grafiklerine bakıldığında; sıcaklık farkları benzer olmasına rağmen, hava ile yapılan analizlerdeki sıcaklık değerlerinin, su buharı ile yapılan analizlerdeki sıcaklık değerlerine göre daha yüksek olduğu görülür. Bunun sebebi, havanın özgül ısısının (1006.43 J/kg.K) su buharının özgül ısısından (1901 J/kg.K) daha az olmasıdır. Yani; aynı giriş sıcaklıklarında havanın fırın içi sıcaklığı değişiminin, su buharına göre daha az dirençli olmasıdır.

Akışkanın giriş sıcaklığının artmasıyla, mumlar daha iyi erime karakteristiği göstermiştir (Çizelge 7.2).

Çizelge 7. 2 Akışkanın giriş sıcaklığına göre karşılaştırma çizelgesi

	1.5 m/s- <b>400 K-</b> Buhar	1.5 m/s- <b>410 K-</b> Buhar	3 m/s- <b>400 K-</b> Buhar	3 m/s- <b>410 K-</b> Buhar	4.5 m/s- <b>400 K-</b> Buhar	4.5 m/s- <b>410 K-</b> Buhar
<i>Sıcaklık farkı</i>	13-16 °C		12-15 °C		12-15 °C	
<i>Sıcaklık dağılımı</i>	Benzer		Benzer		Benzer	
<i>Erime kesri 0 ila 0.1 arasındaki elementlerin yüzdesi</i>	%76	%72	%56	%51	%47	%43
<i>Mumların erime karakteristiği</i>		Daha iyi		Daha iyi		Daha iyi

Akışkanın giriş hızının artması, fırın içi ortalama sıcaklıkları arttırmış; ayrıca mumlar daha iyi erime karakteristiği göstermiştir (Çizelge 7.3).

Çizelge 7. 3 Akışkanın giriş hızına göre karşılaştırma çizelgesi

	<b>1.5 m/s-410 K- Buhar</b>	<b>3 m/s-410 K- Buhar</b>	<b>4.5 m/s-410 K- Buhar</b>
<i>Sıcaklık farkı</i>	15 °C		
<i>Sıcaklık dağılımı</i>	Benzer		
<i>Erime kesri 0 ila 0.1 arasındaki elementlerin yüzdesi</i>	%71	%51	%43
<i>Mumların erime karakteristiği</i>			Daha iyi

Proses süresi de sıcaklık dağılımı ve mumun erime karakteristikleri üzerinde etkilidir. Bunlar, proses süresi ile doğru orantılıdır (Çizelge 7.4).

Çizelge 7. 4 Proses süresine göre karşılaştırma çizelgesi

	<b>4.5 m/s- 410 K- Buhar_3h</b>	<b>4.5 m/s- 410 K- Buhar_6h</b>
<i>Sıcaklık farkı</i>	10-15 °C	
<i>Sıcaklık dağılımı</i>		Daha üniform
<i>Erime kesri 0 ila 0.1 arasındaki elementlerin yüzdesi</i>	%68	%42
<i>Mumların erime karakteristiği</i>		Daha iyi

Son olarak; bu analizler, fırın geometrisi yönünden incelendiğinde; 3 girişli ile yapılan analizlerdeki mumlar, tek girişli ile yapılan analizlerdeki mumlara göre daha iyi erime karakteristiği göstermiştir. Fakat, tek girişli fırın geometrisinde yapılan analizlerin, 3 girişli fırın geometrisinde yapılan analizlere göre fırın içi daha homojen bir sıcaklık dağılımı sağladığı görülür (Çizelge 7.5).



Çizelge 7. 5 Fırın geometrisine göre karşılaştırma çizelgesi

	4.5 m/s- 410 K- Buhar_Tek girişli	4.5 m/s- 410 K- Buhar_3 girişli
<i>Sıcaklık farkı</i>	15-18 °C	
<i>Sıcaklık dağılımı</i>	Daha üniform	
<i>Erime kesri 0 ila 0.1 arasındaki elementlerin yüzdesi</i>	%43	%24
<i>Mumların erime karakteristiği</i>		Daha iyi

Bu sonuçlara bakıldığında; 4.5 m/s giriş hızında ve 410 K giriş sıcaklığında doymuş su buharının akışkan olarak kullanıldığı, tek girişli bir otoklav fırın tasarımının, 6 saat proses süresi sonunda; fırın içi sıcaklık dağılımı ve erime karakteristiği yönünden optimize bir tasarım olduğu söylenir.

Bundan sonraki çalışmalarda; sonuçlara uygun olarak, fırın geometrisinin ve diğer parametrelerin üzerinde çalışılması, sıcaklık dağılımlarının termal kamera ile izlenmesi, fırın içi akışın düzenlenmesinde; gerekli durumda türbülötör kullanılması önerilmektedir. Ayrıca çalışmaların deneysel olarak desteklenmesi, sonuçların doğruluğunu arttıracaktır.

## KAYNAKLAR

---

- [1] Kubiak, K., Szeliga, D., Sieniawski, J. ve Onyszko A., (2015). The Unidirectional Crystallization of Metals and Alloys (Turbine Blades), Handbook of Crystal Growth: Bulk Crystal Growth, Second Edition, Elsevier B.V., Rzeszow.
- [2] Yahaya, B., Izman, S., Idris, M.H. ve Dambatta, M.S., (2015). "Effects of Activated Charcoal on Dewaxing Time in Microwave Hybrid Heating", Procedia CIRP, 26: 467-472.
- [3] Yuan, C., Jones, S. ve Blackburn S., (2005). "The Influence of Autoclave Steam on Polymer and Organic Fibre Modified Ceramic Shells", Journal of the European Ceramic Society, 25: 1081-1087.
- [4] Aadmi, M., Karkri, M. ve El Hammouti, M., (2015). "Heat Transfer Characteristics of Thermal Energy Storage for PCM (Phase Change Material) Melting in Horizontal Tube: Numerical and Experimental Investigations", Energy, 85: 339-352.
- [5] Saeed K, M., Aikkara, R. ve Kadengal, A., (2014). "Analysis and Optimization of Melting Rate of Solids PCM for Various Shapes and Configurations", International Journal of Emerging Engineering Research and Technology, 2: 173-183.
- [6] Anlar, T.T., (2009). Hassas Dökümde Kullanılan Mum Kalıbında Besleme Yolluklarının Yerinin Optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze.
- [7] American Society for Metals , (1970). "Metals Handbook, Forging and Casting", Vol. 5, 8th Edition, Ohio.
- [8] Teknik Döküm, (2008). Kuyumcular için Döküm Kılavuzu, Kayıp Mum Tekniğiyle Döküm, İstanbul.
- [9] Clegg, A.J., (1991). Precision Casting Processes, Pergamon Pres, Oxford.
- [10] Poli, C., (2001). Design for Manufacturing: A Structured Approach, Butterworth-Heinemann, Woburn-MA.
- [11] Altınoğlu A., (1996). Hassas Döküm Yöntemi, Haziran 102. sayı, TMMOB Metalürji Müh. Odası Dergisi, Ankara.

- [12] Cook G.J., (1961). Investment Casting, Engineered Castings, The McGraw-Hill Book Company Inc., Michigan.
- [13] American Society for Metals, (1988). "Metals Handbook, Casting", Vol. 15, Ohio.
- [14] Beeley P.R. ve Smart R.F., (1995). Investment Casting, The Institute of Materials, London.
- [15] Hunt, L.B., (1980). "The Long History of Lost Wax Casting", Gold Bulletin, 13: 63-79.
- [16] Mitoloji Sözlüğü, Bronz Geyik Yontusu, [http://fe-mitolojisozlugu.com/kazibilim/arkeoloji\\_tarihce.html](http://fe-mitolojisozlugu.com/kazibilim/arkeoloji_tarihce.html), 11 Şubat 2016.
- [17] "Hassas Döküm Metodu Ve Pratikteki Kullanım Alanları", İSO Vizyon Toplantıları Toplantı Notları, Mart 2009, İstanbul.
- [18] Job Shop, Industrial Applications, <http://www.jobshop.com/techinfo/papers/investmentcasting2.shtml>, 11 Şubat 2016.
- [19] Wikimedia, Turbine Blade with Wax Pattern, [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Turbine\\_blade\\_with\\_wax\\_pattern.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Turbine_blade_with_wax_pattern.jpg), 11 Şubat 2016.
- [20] Barkay O., (1995). "Hassas Döküm Tekniği ve Kullanılan Refrakter Malzemeler", Seminer Notları, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [21] Çiğdem M., (1996). İmal Usulleri, Çağlayan Kitabevi, İstanbul.
- [22] Sönmez H., (2003). Döküm Teknolojisinde Gelişmeler, Yüksek Lisans Ders Notları, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [23] Kalpakjian, S. ve Schmid, S.R., (2009). Manufacturing Engineering And Technology, Sixth Edition In SI Units, Pearson, New Jersey.
- [24] Serin F., (2003). "Hassas döküm Teknolojisi", TMMOB Seminer Notları, İstanbul.
- [25] Çavuşoğlu E.N., (1992). Döküm Teknolojisi I, Hassas Döküm Yöntemi, İTÜ Kimya-Metalurji Fakültesi Ofset Atölyesi, İstanbul.
- [26] Beeley, P., (2001). Foundry Technology, Second Edition, Butterworth-Heinemann, Oxford.
- [27] TurkADCAM.net, Investment Flask Casting, <http://www.turkadcaml.net/rapor/otoinsa/hassas-dokum.html>, 11 Şubat 2016.
- [28] The Islamic University of Gaza, Schematic Illustration of Investment Casting, [http://site.iugaza.edu.ps/sabdelall/files/2010/02/Ch11\\_Metal\\_Casting\\_Process.pdf](http://site.iugaza.edu.ps/sabdelall/files/2010/02/Ch11_Metal_Casting_Process.pdf), 11 Şubat 2016.
- [29] Ünlüer, Ö., (2001). Alçı Kalıplar ve Alçı Kalıplarda Mikro Yapı Dizaynı, Yüksek Lisans Dönem Projesi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.

- [30] Kaya, D., (2000). Anhidrit ve Kalsiyum Karbonatın Döküm Alçısına Etkisi, Bitirme Tezi, Anadolu Üniversitesi Seramik Mühendisliği Bölümü, Eskişehir.
- [31] Li, T., Luo, J., Wu, S. ve Wan, L., (2009). "A New Phosphate-Bonded Investment Material for Rapid Ceramic Molding of Medium-Size Castings", *Advanced Materials Research*, 79-82: 1715-1718.
- [32] L. Wood R., (1952). *Investment Casting for Engineers*, Reinhold, Michigan.
- [33] Sönmez H., (1987). *Basınçlı Döküm, Gravite Döküm Ders Notları*, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [34] MEGEP, (2006). "Kuyumculuk Teknolojisi, Kauçuk Kalıp", 215ESB020, Ankara.
- [35] MEGEP, (2006). "Kuyumculuk Teknolojisi, Alçı Kalıp", 215ESB021, Ankara.
- [36] MEGEP, (2011). "Makine Teknolojisi, Hassas Döküm Modelleme 2", 521MMI087, Ankara.
- [37] Faccenda, V. ve Ingo, G.M., (2000). "Advances in Investment and Burnout Furnace Design", *Gold Technology*, 31: 22-28.
- [38] MEGEP, (2006). "Kuyumculuk Teknolojisi, Döküm", 215ESB022, Ankara.
- [39] Horton, P.J., (2000). "Investment Powders and Casting", *Gold Technology*, 28:12-17.
- [40] Faccenda, V., (2003). "Handbook on Investment Casting", World Gold Council, London.
- [41] Yaman, B., (2002). *Demir Dışı Alaşımların Dereceli Hassas Dökümünde Kullanılan Kalıp Malzemeleri, Yüksek Lisans Tezi*, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [42] Fielder H., (2000). "The Reclamation of the Investment Casting Waxes", World Conference, Monte Carlo.
- [43] Türk Hastane İnfeksiyonları ve Kontrolü Derneği (HİDER) ve Dezenfeksiyon, Antisepsi, Sterilizasyon (DAS) Derneği, (2007). *Sterilizasyon Rehberi Taslağı*, Samsun.
- [44] Hacettepe Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü, Otoklavlar, <http://www.food.hacettepe.edu.tr/turkish/ouyeleri/gmu428/otoklavlar.pdf>, 9 Mayıs 2016.
- [45] Külekçi G., (2007). *Diş Hekimliğinde Ne Tip Otoklav Alınmalı ve Nasıl Kullanılmalı?*, 5. Ulusal Sterilizasyon Dezenfeksiyon Kongre Kitabı , Bilimsel Tıp Yayınevi, İstanbul.
- [46] Wikipedia, Autoclave Stove Top, [https://tr.wikipedia.org/wiki/Dosya:Autoclave\\_stove\\_top.jpg](https://tr.wikipedia.org/wiki/Dosya:Autoclave_stove_top.jpg), 9 Mayıs 2016.
- [47] Estridge, B.H., Reynolds, A.P. ve Walters, N.J., (2000). *Basic Medical Laboratory Techniques*, Fourth Edition, Thomson Learning, New York.
- [48] Karadağ A., (2005). "Otoklav İle Sterilizasyon", 4. Ulusal Sterilizasyon Dezenfeksiyon Kongresi, 20-24 Nisan 2005, Samsun, 78-86.

- [49] Friedman, C. ve Petersen, K.H., (2004). Infection Control in Ambulatory Care, First Edition, Jones and Barlett, Sudbury.
- [50] MEGEP, (2012). "Biyomedikal Cihaz Teknolojileri, Otoklavda Elektromekanik Sistemler", 523EO0248, Ankara.
- [51] Singleton, P., (2004). Bacteria in Biology, Biotechnology and Medicine, Sixth Edition, Wiley, West Sussex.
- [52] Wikipedia, Autoclave, <https://en.wikipedia.org/wiki/Autoclave>, 9 Mayıs 2016.
- [53] ASC Process Systems, Autoclave Types, <http://www.aschome.com/index.php/en/products/autoclaves/autoclave-types>, 9 Mayıs 2016.
- [54] Hosseini, M.J., Rahimi, M. ve Bahrampoury, R., (2014). "Experimental and computational evolution of a shell and tube heat exchanger as a PCM thermal storage system", Heat and Mass Transfer, 50: 128- 136.
- [55] Ranjbar, A.A., Hosseini M.J., Sedighi, K. ve Rahimi, M., (2012). "A combined experimental and computational study on the melting behavior of a medium temperature phase change storage material inside shell and tube heat exchanger", Heat and Mass Transfer, 39: 1416- 1424.
- [56] Qiu, S., Tiari, S. ve Mahdavi, M., (2015). "Numerical study of finned heat pipe-assisted thermal energy storage system with high temperature phase change material", Energy Conversion and Management, 89: 833- 842.
- [57] Mohebbi, A., Sattari, H., Afsahi, M.M. ve Yancheshme, A.A., (2016). "CFD simulation of melting process of phase change materials (PCMs) in a spherical capsule", International Journal of Refrigeration, S0140-7007(16)30287-0.

## ÖZGEÇMİŞ

---

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** : Batuhan ASLAN  
**Doğum Tarihi ve Yeri** : 23.04.1992 - Bakırköy  
**Yabancı Dili** : İngilizce  
**E-posta** : bthnsln92@gmail.com – batuhan.aslan@icloud.com

### ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Makine Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2014
Lise	Fen Bilimleri	Şehremini Anadolu Lisesi	2010

### İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2014	Arçelik A.Ş.	Ar-Ge Uzun Dönem Stajyeri
2012	Arçelik A.Ş.	Üretim Stajyeri