

**T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**A360 Alüminyum Alaşımının Basınçlı Dökümünde
Enjeksiyon Parametrelerinin Teorik ve Deneysel
İncelenmesi**

Turgut ÖZMEN

**Danışman
Yrd. Doç. Dr. Murat KORU**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISPARTA - 2015**

© 2015 [Turgut ÖZMEN]

TEZ ONAYI

Turgut ÖZMEN tarafından hazırlanan " **A360 Alüminyum Alaşımının Basınçlı Dökümünde Enjeksiyon Parametrelerinin Teorik ve Deneysel İncelenmesi**" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak başarı ile savunulmuştur.

Danışman

Yrd. Doç. Dr. Murat KORU
Süleyman Demirel Üniversitesi



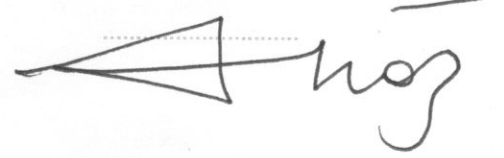
Jüri Üyesi

Prof. Dr. Ali Kemal YAKUT
Süleyman Demirel Üniversitesi



Jüri Üyesi

Yrd. Doç. Dr. Ali ÖZ
Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi



Enstitü Müdürü

Doç. Dr. Yasin TUNCER

.....

TAAHHÜTNAME

Bu tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Turgut ÖZMEN

İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	ix
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	13
3. BASINÇLI DÖKÜMDE SİMÜLASYON UYGULAMASI.....	18
3.1. Basınçlı Döküm Simülasyonunun Model ve Grafik Gösterimleri	21
4. MATERYAL VE METOT	26
4.1. Basınçlı Döküm Makinası	28
4.2. Vakum Cihazının Çalışma Sistemi	29
4.3. DC 200 Makinasının Çalışma Sistemi.....	34
4.4. Kalıp Isıtıcı-Soğutucu Regülatör.....	37
4.5. Sıcaklık Datalarının Oluşturulması	39
4.6. Enjeksiyon Ürünü Çekme ve Akma Dayanımı Test cihazı.....	40
5. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	42
5.1. DC 200 Ölçüm Cihazından Alınan Sonuçlar.....	42
5.2. Basınçlı Döküm Makinesinden Alınan Sıcaklık Dataları.....	46
5.3. Dolum Simülasyonunda Elde Edilen Sonuçlar	52
5.4. Dolum Sırasında Oluşan En Yüksek Hızlar	56
5.5. Dolum Sırasında Oluşan Son Hava Simülasyonu	58
5.6. Katılma Simülasyonundan Elde Edilen sonuçlar	61
5.7. Katılma Sırasında Oluşan Mikro Porozite Oranı.....	64
5.8. Yüksek Basınçlı döküm Prosesi Ürünlerinin Mekanik Özellik. İncelenmesi.....	66
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	75
KAYNAKLAR	77
ÖZGEÇMİŞ	82

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

A360 Alüminyum Alaşımının Basınçlı Dökümünde Enjeksiyon Parametrelerinin Teorik ve Deneysel İncelenmesi

Turgut ÖZMEN

Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Murat KORU

Basınçlı döküm metodunda, döküm prosesi boyunca değişen dinamik (enjeksiyon hızı, enjeksiyon basıncı, vakum uygulaması vb.) ve termal (kalıp, döküm sıcaklığı vb.) parametreler ürünün boyutsal hassasiyetini, mekanik ve metalürjik özelliklerini belirleyen en önemli parametrelerdir. Her bir enjeksiyon çevrimi için optimum parametrelerin doğru belirlenebilmesi endüstride çok geniş bir alanda uygulama alanına sahip alüminyum enjeksiyon için önemlidir. Bu nedenlerle basınçlı döküm prosesinde üretim parametrelerini belirlemeye yönelik çalışmaların yapılması önemlidir.

Basınçlı döküm prosesi simülasyon programları (Flow-3D, Magmasoft, Vulcan vb.) kullanılarak analiz edilebilmektedir. Bilgisayar ortamında farklı termal, dinamik parametreler ve vakum durumu birlikte değerlendirilerek ideal üretim şartları belirlenebilmektedir. Simülasyon programı ile belirlenen ideal parametrelerin deneysel olarak ispatı önemlidir. Bu tezde hem simülasyon hem de deneysel çalışmalar için farklı parametreleri içeren analizler yapılmıştır. Teorik ve deneysel çalışmalar; 983 ve 1053 K döküm sıcaklığı, 373-433-493 ve 553 K kalıp sıcaklığı, 100-200 bar enjeksiyon basıncı, 1.7-2.5 m/s enjeksiyon hızı ve vakumlu-vakumsuz şartlarda tekrarlanmıştır. Flow-3D Simülasyon programından farklı parametrelere bağlı olarak, dolum süreleri, dolum hızları, katılma süreleri, sıcaklık dağılımı, son hava ve mikro porozite değerleri elde edilmiştir. Bu sonuçlarda dikkate alınarak tüm parametreler için deneyler 200 ton kapasiteli soğuk kamaralı döküm makinesi ile vakum-vakumsuz şartlarda en az beş numune olmak kaydıyla tekrarlanmıştır. Elde edilen ürün yarı-mamul bir üründür dolayısıyla ikincil bir işleme tabi tutulmadan doğrudan çekme test cihazında test edilmiş ve mekanik özellikleri belirlenmiştir.

Sonuç olarak; A 360 alüminyum alaşımı ve silindirik geometriye sahip H13 kalıp çeliği kullanılarak yapılan yüksek basınçlı döküm prosesi için ideal termal ve dinamik parametreler; 553 K kalıp sıcaklığı, 983-1053 K döküm sıcaklığı, 1.7 m/s ikinci faz hızı, 200 bar enjeksiyon basıncı ve vakumlu parametreler olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Basınçlı Döküm, Vakum Uygulaması, Termal ve Dinamik Parametreler, Döküm Simülasyonu

2015, 82 sayfa

ABSTRACT

Master's Thesis

Theoric and Experimental Analysis of Injection Parameters in the Die-Casting of A360 Aluminum Composite

Turgut ÖZMEN

Süleyman Demirel University

Institute of Science

Department of Energy Systems Engineering

Advisor: Assistant Professor Murat KORU

In the pressure casting method, dynamic (injection speed, injection pressure, vacuum etc.), and thermal (mold, casting temperature, etc.) parameters varying for casting process are the most important parameters to determine the dimensional precision of the product, mechanical and metallurgical properties. To determine the optimum parameters accurately for each injection cycle is important for the aluminum injection which has a wide range of application in industry. Thus it's important to make studies to determine the parameters of die- casting process.

Die casting process can be analyzed using simulation programs (Flow-3D, Magmasoft, Vulcan etc). Different thermal, dynamic parameters and vacuum conditions are evaluated together and ideal production conditions can be determined. The experimental proof of ideal parameters determined with the simulation program is important. In this thesis, analyzes were performed with different parameters for both simulation and experimental studies. Theoretical and experimental studies are repeated in vacuum and non-vacuum environments with respect to 983 and 1053 K casting temperature, 373-433-493-553 K mold temperature, 100-200 bar injection pressure, 1.7-2.5 m/s injection speed. Filling time, filling speed, solidification time, temperature distribution, the last air and micro porosity values depending on different parameters are obtained from Flow-3D simulation program. Considering these results, at least five samples of tests for all parameters are repeated in vacuum and non-vacuum conditions with a capacity of 200 tons of cold-chamber die casting machine. Obtained product is a semi-finished product; thus was tested directly in a tensile testing machine without being subjected to a secondary processing and mechanical properties were determined.

As a result; ideal thermal and dynamic parameters for A360 aluminum alloy and high-pressure casting process using H13 mold having cylindrical geometry are determined as 553 K mold temperature, 983-1053 K casting temperature, 1.7 m/s secondary phase rate, 200-bars injection pressure and vacuum applied parameters.

Key Words: Die Casting, Vacuum Applications, Thermal and dynamic parameters, Casting simulation

2015, 82 pages

TEŞEKKÜR

Basınçlı Döküm konusunda yaptığım simülasyon, termal parametrelerin belirlenmesi, vakum uygulamaları ve teorik incelemelerde üstün bilgi ve eğitimiyle beni yönlendiren, bilgi, deneyim ve tecrübelerini benimle paylaşan, literatür araştırmaları konusunda öncülük eden sayın danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Murat KORU'ya teşekkürlerimi sunarım.

Yapmış olduğum bu çalışmada 114M003 no'lu proje ile maddi destek sağlayan Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu'na (TÜBİTAK) ve 4416-YL1-15 no'lu proje ile maddi destek sağlayan SDÜ Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) koordinasyon birimine teşekkür ederim.

Eğitim hayatımın her aşamasında beni maddi ve manevi anlamda destekleyen aileme ve sevdiklerime teşekkür ederim.

Turgut ÖZMEN
ISPARTA, 2015

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1. Basınçlı döküm yöntemlerinin sınıflandırması	3
Şekil 1.2. Soğuk hazneli basınçlı döküm makinesinin şematik görünümü.....	5
Şekil 1.3. Yatay soğuk hazneli enjeksiyon makinesinin çalışma prensibi, (a) metalin doldurulması, (b) silindirin birinci fazdaki hareketi, (c) birinci fazın bittiği yer, (d) ikinci fazın başladığı yer, (e) ikinci faz ile kalıbın doldurulması, (f) parçanın dolup katılarak hazır hale gelmesi.....	6
Şekil 3.1. Simülasyon modeline ait iş-akış grafiği	19
Şekil 3.2. Döküm simülasyonu aşamalarının iş akış diyagramı.....	20
Şekil 3.3. Basınçlı Döküm simülasyonu yapılacak parçanın 3 boyutlu CAD çizimi.....	22
Şekil 3.4. Kullanılan modelin dolun ağız kesitleri (a, b), sol yan ve arka görünüşü	22
Şekil 3.5. Flow3D programında oluşturulan mesh sınırları.....	23
Şekil 3.6. Mesh oluşturulan modelin yüzey meshlerinin görüntüsü	24
Şekil 3.7. Enjeksiyon üçüncü fazının uygulanması	25
Şekil 4.1. Deneysel çalışma planı	26
Şekil 4.2. Basınçlı döküm makinesi ve Vakum makinesi.....	28
Şekil 4.3. Vakum uygulamasının birinci aşaması	30
Şekil 4.4. Vakum uygulamasının ikinci aşaması	31
Şekil 4.5. Vakum uygulamasının üçüncü aşaması.....	32
Şekil 4.6. Vakum uygulamasının dördüncü aşaması.....	32
Şekil 4.7. Vakum uygulamasının beşinci aşaması	33
Şekil 4.8. Vakum uygulamasının altıncı aşaması.....	33
Şekil 4.9. Vakum uygulamasının yedinci aşaması.....	34
Şekil 4.10. (DC200) Dinamik parametre ölçüm cihazı bağlantı noktaları.....	35
Şekil 4.11. Dinamik parametrelerin ölçüm cihazı	35
Şekil 4.12. Tipik bir basınç eğrisi.....	36
Şekil 4.13. Kalıp ısıtıcı soğutucu regülatörün ön ve arka görünüşü.....	37
Şekil 4.14. Kalıp ısıtma soğutma regülatörü fonksiyonel diyagramı.....	38
Şekil 4.15. Dökümden ve kalıptan sıcaklık ölçümü alabilmek amacıyla yerleştirilmiş termokupulların konumları	39
Şekil 4.16. Sıcaklık verilerini kaydeden veri toplama sistemi.....	40
Şekil 5.1. K373-D983-v1(0.2)-v2(1.7)-P200 basınç-hız-yol grafiği	42
Şekil 5.2. K373-D983-v1(0.2)-v2(2.5)-P200 basınç-hız-yol grafiği.....	42
Şekil 5.3. K373-D983-v1(0.2)-v2(2.5)-P201 basınç-hız-yol grafiği	43
Şekil 5.4. K373-D983-v1(0.2)-v2(1.7)-P201 basınç-hız-yol grafiği.....	43
Şekil 5.5. K553-D1053-v1(0.2)-v2(2.5)-P101 basınç-hız-yol grafiği.....	44
Şekil 5.6. K553-D1053-v1(0.2)-v2(1.7)-P101 basınç-hız-yol grafiği	44
Şekil 5.7. K553-D1053-v1(0.2)-v2(1.7)-P100 basınç-hız-yol grafiği.....	45
Şekil 5.8. K553-D1053-v1(0.2)-v2(2.5)-P100 basınç-hız-yol grafiği	45
Şekil 5.9. Kalıp 373 K ve Döküm 983 K için sıcaklık grafikleri	46
Şekil 5.10. Kalıp 373 K ve Döküm 1053 K için sıcaklık grafikleri	48
Şekil 5.11. Kalıp 433 K ve Döküm 983 K için sıcaklık grafikleri.....	48
Şekil 5.12. Kalıp 433 K ve Döküm 1053 K için sıcaklık grafikleri	49
Şekil 5.13. Kalıp 493 K ve Döküm 983 K için sıcaklık grafikleri.....	49

Şekil 5.14. Kalıp 493 K ve Döküm 1053 K için sıcaklık grafikleri	50
Şekil 5.15. Kalıp 553 K ve Döküm 983 K için sıcaklık grafikleri.....	50
Şekil 5.16. Kalıp 553 K ve Döküm 1053 K için sıcaklık grafikleri	51
Şekil 5.17. Frommer teorisine göre sıvı metalin kalıp içerisindeki akışı.....	53
Şekil 5.18. Dolum simülasyonu	54
Şekil 5.19. Flow3D programından alınan dolum süresi simülasyon sonuçları.....	55
Şekil 5.20. Seçilen 2.faz başlangıç noktası.....	57
Şekil 5.21. Flow3D programından alınan, dolum sırasında oluşan en yüksek akışkan hızı değerleri.....	58
Şekil 5.22. Flow3D programından alınan hava sıkışması sonuçları	60
Şekil 5.23. Katılma simülasyonu.....	61
Şekil 5.24. Katılma son bölge	62
Şekil 5.25. Flow3D simülasyon programından alınan katılma süreleri.....	63
Şekil 5.26. Flow3D programından alınan yüzdesel mikro porozite oranları	65
Şekil 5.27. Flow3D programından alınan yüzdesel mikro porozite görüntüleri.....	66
Şekil 5.28. Kalıp sıcaklığı, enjeksiyon hızı, enjeksiyon basıncı, 983 K döküm sıcaklığı ve vakum uygulamasının çekme dayanımına etkisi.....	69
Şekil 5.29. Kalıp sıcaklığı, 983 K döküm sıcaklığı ve vakum uygulamasının çekme dayanımına etkisi	70
Şekil 5.30. Kalıp sıcaklığı, enjeksiyon hızı, enjeksiyon basıncı, 1053 K döküm sıcaklığı ve vakum uygulamasının çekme dayanımına etkisi.....	71
Şekil 5.31. Kalıp sıcaklığı, enjeksiyon hızı, enjeksiyon basıncı, 983 K döküm sıcaklığı ve vakum uygulamasının akma dayanımına etkisi.....	72
Şekil 5.32. Kalıp sıcaklığı, enjeksiyon hızı, enjeksiyon basıncı, 1053 K döküm sıcaklığı ve vakum uygulamasının akma dayanımına etkisi.....	73
Şekil 5.33. Kalıp sıcaklığı, döküm sıcaklığı ve vakumsuz şartların çekme dayanımına etkisi.....	73
Şekil 5.34. Kalıp sıcaklığı, döküm sıcaklığı ve vakumlu şartların çekme dayanımına etkisi.....	74

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 4.1. A360 döküm malzemesinin ve H13 kalıp malzemesinin termofiziksel özellikleri.....	27
Çizelge 4.2. Basınçlı döküm alüminyum alaşımlarının uluslararası standartlarda gösterimi (Ertürk, 2010).....	27
Çizelge 4.3. Çekme Numunesine Uygulanan Parametreler.....	40
Çizelge 5.1. Vakumsuz şartlarda termal ve dinamik parametrelere bağlı çekme ve akma dayanımı sonuçları.....	67
Çizelge 5.2. Vakumlu şartlarda termal ve dinamik parametrelere bağlı çekme ve akma dayanımı sonuçları.....	68

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

C	Döküm sıcaklığı
c_p	Özgül ısı
D	İkinci fazın başlangıç noktası dolum ağzında
F	İkinci fazın başlangıç noktası
K	Kelvin
M	Kalıp sıcaklığı
m	Metre
s	Saniye
T	İkinci fazın başlangıç noktası topuk kısmında
T_d	Dolum sıcaklığı
T_e	İtici sıcaklığı
T_i	Enjeksiyon sıcaklığı
T_k	Kalıp sıcaklığı
V1	Birinci faz hızı
V2	İkinci faz hızı
V_e	Enjeksiyon hızı
V_p	Pistonun hızı

1. GİRİŞ

Döküm işlemi, metal parçaların üretimi için kullanılan en eski üretim yöntemlerinden biridir. Erimiş metalin, elde edilecek parçanın şekline uygun bir kalıp boşluğuna, yerçekimi veya basınç uygulanarak doldurulup katılaşacağı yönetime döküm denir. Eski döküm yöntemlerinde katılaşma sonrasında parçayı kalıptan çıkarmak için kalıbı parçalamak gerekiyordu. Bu işlemde üretilecek parça sayısını kısıtlıyor ve üretimi yavaş bırakıyordu aynı zamanda kalıp için tekrar tasarım yapmak gerekiyordu bunların hepsi üretimde kazancı azaltıyor ve ekonomik sıkıntı meydana getiriyordu. İnsanoğlunun ihtiyaçlarının artması ile daha karmaşık şekilli parçalarında üretilmesi gerekiyordu bu yüzden gelişen teknoloji yöntemleri ve seri üretim planlamaları gerekliliğinin nedeni bu yeni üretim metotlarının bulunmasına sebep olmuştur (Vinarçık, 2003).

Basınçlı döküm işlemi sıvı metalin çok yüksek basınç altında metalden yapılmış bir kalıba doldurulması yöntemidir. Uygulanan basınç sayesinde fazla miktarda sıvı metalin kalıba çok hızlı bir şekilde doldurulması sağlanır. Katılaşma tamamlanıncaya kadar basınç uygulanmaya devam edilir ve ardından kalıp açılarak itici çubuklar yardımıyla parça kalıptan çıkarılarak işlem tamamlanır. Bu yöntem sayesinde çok karışık şekilli parçaların dökümü mümkün kılınır. Genellikle dökülecek malzemenin sıcaklığı 1000 °C'nin altındadır. İşlemler komple makinalar tarafından gerçekleştirildiği için yüksek üretim hızlarına erişilebilir (100...800 parça/saat). Kullanılan basınçlar 10-80 atmosfer arasında değişiklik gösterebilir. İşlem sonucunda elde edilen parça genellikle talaşlı imalata gerek duymayacak kadar pürüzsüz olur. Ayrıca parçaların yüzeyleri hızlı soğuma sonucu ince taneli ve mukavemetli olurlar. Kalıp malzemesi olarak dökme demir, karbonlu çelik, alaşımli çelik ve bazen de demir dışı malzeme kullanılabilir. Dökülen metalin erime sıcaklığı yüksek ise alaşımli çelik, düşük ise karbonlu çelik kalıplar tercih edilir. Basınçlı dökümde kurşun, kalay, çinko, alüminyum ve magnezyum alaşımlar kullanılır. Kalıplar genellikle çift parçalıdır ve üzerinden parçaları ayırabilmek için itici çubuklar vardır. Kalıpların sıcaklığının sabit kalabilmesi için genellikle yağ veya su ile soğutulurlar bu

yöntemle hem kalıp ömrü artar hem de katılaşma esnasında hızlı soğuma işlemi sağlanmış olur.

Ayrıca kokil döküm yönteminde sıvı metal yerçekimi kuvveti yardımıyla kalıba doldurulurken, basınçlı döküm yönteminde sıvı metal basınçla kalıba doldurularak diğer döküm yöntemiyle üretilmesi çok zor olan parçaların daha kolay ve seri bir şekilde üretilmesine imkân sağlanmaktadır. (Doehler, 1974; ASM Handbook Volum 15, 1992; Vinarcık, 2003; Gözen, 2007; Koru, 2009; Şirin, 2010; Ertürk, 2010).

Basınçlı döküm yöntemi ilk defa 1849'da Sturges, 1852'de Barr, 1856'da Pelize, 1877'de Dusenbury tarafından denenmiş ve patent hakları bu kişiler tarafından alınmıştır. Ticari uygulamaları 1890'lı yıllarda pikap, yazar kasa parçaları ve sonrasında otomotiv yatak mil parçalarının kalay-kurşun alaşımı yapılması ile başlamıştır. Günümüzde kullanılan basınçlı döküm makineleri 1910 yılında Doehler tarafından yapılmış ve 973483 no'lu patent numarası ile tescillenmiştir. Alüminyum alaşımları ilk olarak 1915 yılında Doehler baskı döküm şirketi tarafından üretilmiştir. Birinci dünya savaşında bu yöntem, gaz maskesi, makineli tüfek, dürbün vb. parçalarının üretilmesini sağlamıştır. Bugün alüminyum, bakır, magnezyum, çinko, kalay, kurşun alaşımlarından üretilen döküm parçalarının pek çoğu basınçlı döküm yöntemi ile üretilmektedir (Koru, 2009).

Basınçlı döküm yönteminin diğer döküm yöntemleri ile kıyaslandığında yöntemin üstünlükleri ve sınırları vardır.

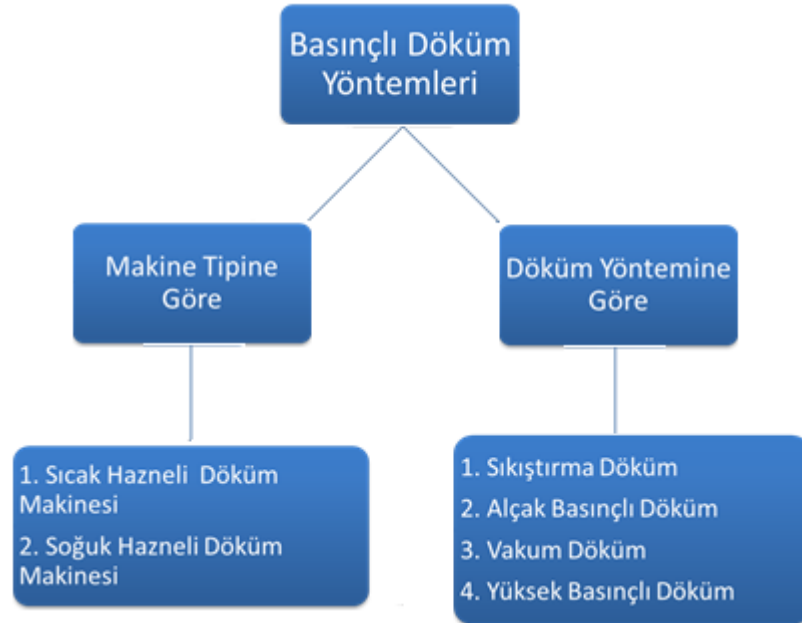
Yöntemin üstünlükleri;

- Karmaşık geometriye sahip küçük parçaların dökümüne uygundur.
- İnce cidarlı parçalarda kalıbın tam olarak dolması sağlanır.
- Üretim hızı yüksektir.
- Yüzey kalitesi ve boyut hassasiyeti çok iyi olduğundan ek bitirme işlemlerine genellikle gerek kalmaz.
- Hızlı soğuma sonucu oluşan ince taneli içyapının mekanik özellikleri iyidir.

Yöntemin sınırları;

- Sadece küçük parçaların üretimi mümkündür.
- Kalıp tasarımı oldukça zor ve masraflıdır.
- Döküm makinası için yüksek bir ön yatırım gerekir.
- Kalıp masrafı nedeniyle ancak seri üretimde ve çok sayıda parça için ekonomiktir.
- Çok yüksek sıcaklıkta eriyen malzemelerin dökümü yapılamaz(Aslan, 2007; Gözen, 2007; Kuru, 2009; Ertürk, 2010).

Basınçlı döküm uygulama yöntemleri üretim ve tezgah türüne göre gruplara ayrılabilir (Şekil 1.1.). Tez çalışmasında incelenen döküm yöntemi, yatay soğuk kamaralı döküm makinesi ile yüksek basınçlı döküm yöntemidir.



Şekil 1.1. Basınçlı döküm yöntemlerinin sınıflandırması

Yüksek basınçlı döküm yöntemi alüminyum, magnezyum ve bakır gibi alaşımların, harici bir ergitme fırınında ergitilmesi ve sonrasında bir kepçe yardımıyla basınçlı döküm makinesinin haznesine aktarılması ve daha sonra bir piston yardımı ile yüksek basınç ve yüksek hızla kalıp boşluğuna doldurulması ile gerçekleşen döküm yöntemidir (Ertürk, 2010).

Basınçlı döküm yöntemiyle üretilen parçaların kullanım alanlarının genişliği fiziki ve kimyasal şartlara uyum sağlayabilecek alaşımların geliştirilmesini bağıdır. Bunun sonucunda ortaya değişik tipte alaşımlar çıkmıştır. Böylelikle kullanım alanı için son derece uygun olan bir alaşım başka bir işte uygunluk sağlamayabilir. Örnek olarak, insanların sürekli temas halinde oldukları kapı kolu gibi bir parçada estetik, buna bağlı olarak da kaplanabilme özelliği ön planda iken kuvvet iletiminde kullanılan bir dişlide gerçek problem malzemenin dayanımıdır. Bunun için malzeme seçimi oldukça önemlidir. Malzeme seçiminde şu hususlara dikkat edilmelidir;

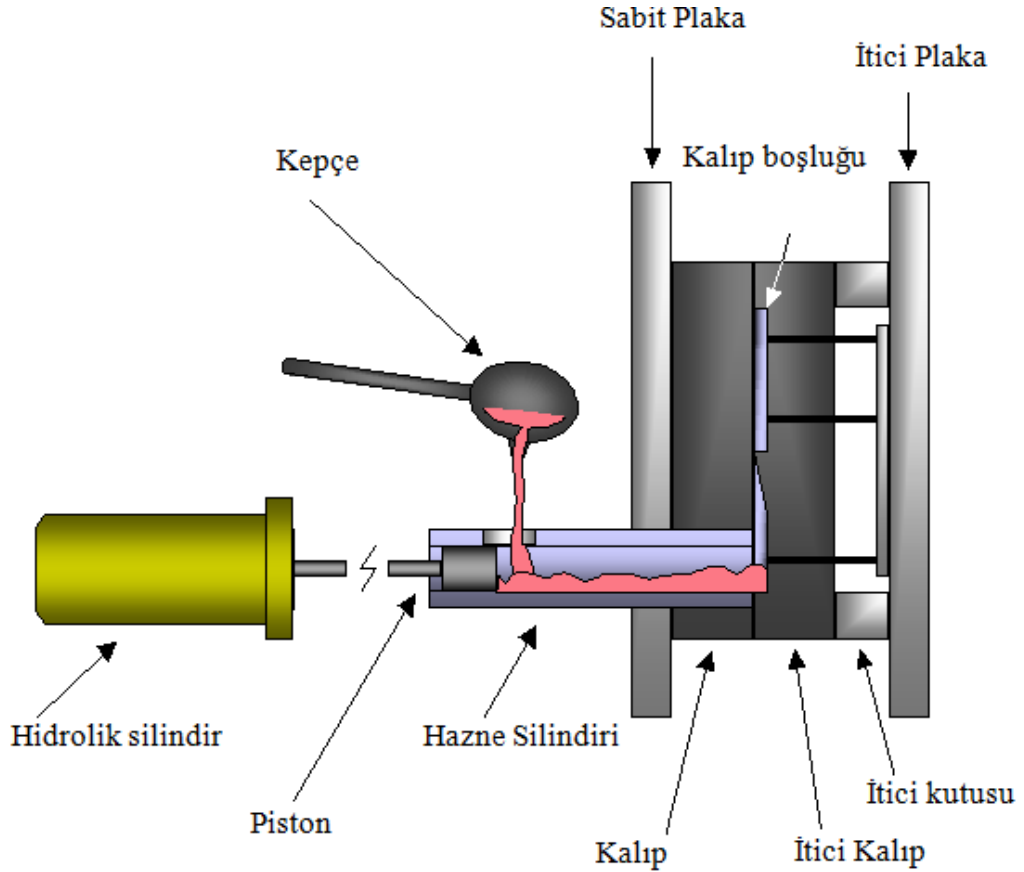
- Parçanın dayanım, sertlik ve şekil değiştirme gibi mekanik özellikleri.
- Aşınmanın ya da yaşlanmanın mekanik ve fiziksel özellikler üzerindeki etkisi.
- Akışkanlık, dökülebilirlik, soğuma çekmesi gibi yönlerden basınçlı döküme adapte edilebilirliği.
- Sıcaklık etkisiyle dayanımda meydana gelen değişiklikler.
- Parlatma, boyama ve kaplama gibi bitirme işlemlerine uygunluğu.
- Kullanım yerine göre parça ağırlığı ve korozyona uygunluğu.
- Kimyasal etkilere ve aşınmaya karşı dayanıklılığı.

Basınçlı dökümde kullanılan alaşımların temel özellikleri;

- Katılaşma olayının belirli bir sıcaklıkta oluşması gerekir. Bu nedenle ötektik alaşımlar ve saf madenler basınçlı döküme uygun değildirler.
- Eritme potasındaki hiçbir kristal ayrışımı olmamalıdır.
- Keskin ve ince hatların iyi dökülebilmesi için alaşımın yeterli bir akıcılığı olmalıdır.
- Hızlı soğumaya rağmen çöküntü ve iç boşluklar meydana gelmemelidir.
- Kalıp içerisinde çatlama ve iç gerilmeler oluşmamalıdır.

Yukarıdaki özellikleri göz önünde bulundurarak basınçlı döküm için uygun olan çinko, kurşun, kalay, alüminyum, magnezyum ve bakır esaslı alaşımların arasından en uygun olanının seçilmesi gerekmektedir (Uludağ, 2007).

Soğuk hazneli döküm makineleri; ergime sıcaklığı 938 K olan alüminyum, 922 K olan magnezyum, 1356 K olan bakır gibi, yüksek ergime sıcaklığındaki malzemelerin enjeksiyonu yapılmaktadır. Enjeksiyon ürünü kalıptan iticiler yardımı ile çıkartılır ve soğuk hazneli makinelerde enjeksiyon sistemini oluşturan hidrolik silindir ve piston yatay şekilde çalışılacak biçimde tasarlanmıştır (Şekil 1.2) (Vinarcık, 2003).

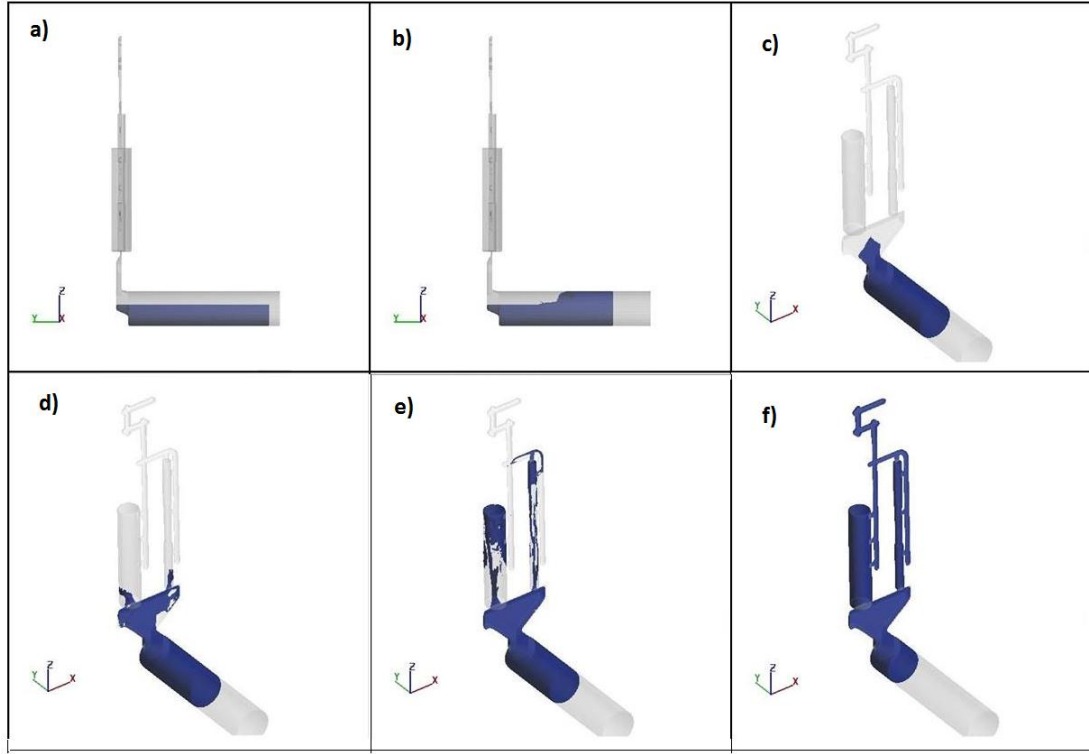


Şekil 1.2. Soğuk hazneli basınçlı döküm makinesinin şematik görünümü

Soğuk hazneli basınçlı döküm makineleri yatay ve dikey olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadır. Bu sınıflandırma pistonun hareketinin yatayda veya dikeyde olmasına bakılarak gerçekleştirilmiştir.

Piston malzemesi olarak, berilyum-bakır veya alaşımli çelikler kullanılabilir. Enjeksiyon makinelerinin haznesi H13 sıcak iş takım çeliği gibi çeliklerden yapılmaktadır (Aslan, 2007).

Yatay soğuk hazneli basınçlı döküm makinalarında ergimiş metalin konulduğu hazne ısıtılmamaktadır, haznede içine konulan ergimiş haldeki sıcak metalden kaynaklı bir ısınma mevcuttur. Aşırı ısınma olduğunda piston, su ile soğutulmuş özelliğini yitirmemesi sağlanır (Aslan, 2007). Şekil 1.3'de yatay soğuk hazneli döküm makinesinin çalışma prensibi verilmiştir.



Şekil 1.3. Yatay soğuk hazneli enjeksiyon makinesinin çalışma prensibi, (a) metalin doldurulması, (b) silindirin birinci fazdaki hareketi, (c) birinci fazın bittiği yer, (d) ikinci fazın başladığı yer, (e) ikinci faz ile kalıbın doldurulması, (f) parçanın dolup katılaşıp hazır hale gelmesi.

Yatay soğuk hazneli basınçlı döküm makinasında döküm aşamaları şöyle sıralanmaktadır; ilk olarak hareketli kalıp yarımı kapatılıp kapama donanımları sayesinde kitlenir (mengene kısmı) ve sonrasında makine harici bir ısıtma potasında ısıtılmış sıvı metal bir kepçe yardımıyla alınarak kovana boşaltılır (a). Piston yüksek basınç ve hız altında sıvı metali kalıp boşluğuna itmeye başlar (b). Piston biraz ilerledikten sonra ikinci faz hızı başlar (c, d). Piston ikinci faz hızıyla çok hızlı bir şekilde (1 - 8 m/s) malzemeyi kalıba doldurmaya başlar (e). Piston yardımıyla parça kalıba iyice doldurulur ve parçanın katılaşması tamamlanana kadar beklenir (f). Böylelikle döküm işlemi tamamlanır.

Bu yöntemde, ergimiş metalin beslenmesi için ek teçhizata ihtiyaç duyulur, aşırı ısı kaybından dolayı döküm hatası oluşması gibi dezavantajı da olabilir (Aslan, 2007).

Bu yöntem ile dolum işleminin gerçekleştirilmesi için makine fazlarının ayarlanması gerekmektedir. Piston hareketi toplamda üç fazda gerçekleşmektedir. Birinci faz ergimiş haldeki metalin yolluk boyunca yavaşça süpürülerek dolum ağzına getirildiği fazdır. Birinci faz hızları doldurulan parçaya göre yaklaşık 0.2 - 1 m/s değerleri arasında değişmektedir. İkinci faz ise dolum işleminin asıl gerçekleştiği fazdır. Ergimiş haldeki metalin yüksek hızlarda kalıp içine doldurulmasını sağlar. İkinci faz hızları yaklaşık olarak 1-12 m/s değerleri arasında değişiklik göstermektedir. Üçüncü faz ise kalıp boşluğunu dolduran sıvı metalin sıkıştırılarak yüksek basınç altında kalıp boşluğunda katılaştığı fazdır.

Basınçlı döküm kalıpları, dökülecek parçanın geometrisinin işlendiği hareketli ve sabit olmak üzere iki kalıp yarımından meydana gelmektedir. Kalıp yarımaları plakalara, plakalarda basınçlı döküm makinesinin ana gövdesine yani şasesine bağlanarak enjeksiyona hazır hale getirilmektedir. Sıvı haldeki ergimiş metal kalıp boşluğuna sabit kalıp yarımında bulunan dolum ağzı kısmı vasıtasıyla ulaştırılmaktadır. Hareketli kalıp yarımında ise dökülecek parçanın şekline bağlı olarak işlenmiş yolluklar ve hava kanalları bulunmaktadır (Doehler, 1974).

Kalıbın yapıldığı malzeme, basınçlı döküm tekniğinin başarısını büyük oranda etkilemektedir. Sıvı metal kalıp içine basınç altında nüfuz ettiğinden kalıp malzemesi yüksek darbe ve mekanik şoklara dayanıklı olmalıdır. Bunun yanı sıra basınçlı döküm kalıplarında kullanılan malzemelerde yüksek sıcaklık, yüksek basınç gibi etmenlerden dolayı kalıpta; ısıl yorulma, çatlama ve takiben kırılma, erozyon ve çökme gibi hasarlar meydana gelebilmektedir (Gözen, 2007; Aslan, 2010).

Bu nedenlerden dolayı kalıp malzemelerinden beklenen özellikler şunlardır; yapısal sağlamlık ve homojenlik, iyi işlenebilirlik, yüksek sıcaklıkta çalışırken

oluşabilecek hasarlara dayanabilme kabiliyetidir. Kullanım esnasında deformasyonu önleyecek miktarda sertlik ve dayanım, moleküler çatlamasını önleyecek yeterli tokluk, sıvı metal alaşımının aşındırıcılığına ve silici etkisine karşı dayanım, yüksek ısı iletkenlik, küçük ısı genleşme katsayısı, ısı işleminde boyutsal kararlılıktır (Doehler, 1974).

Basınçlı döküm yöntemiyle üretilen parçalar çok geniş kullanım alanına sahiptir. Bu kullanım alanlarına uygun kimyasal ve fiziksel özellikleri karşılayabilmesi amacıyla çok çeşitli alaşımlar geliştirilmiştir. Bir kullanım alanı için çok uygun olan alaşımlar, diğer kullanım alanlarına uygun olmayabilir. Örnek olarak, yüksek güçlü aydınlatmaların kutusu üretilirken kullanılan malzemelerin yüksek ısı transferi sağlaması beklenirken, otomobil pistonu kafası üretilirken kullanılan alaşımdan ise yüksek mukavemet beklenir (Aslan, 2007; Gözen, 2007; Uludağ, 2007).

Basınçlı döküm yönteminde makine dinamik (faz hızları ve faz başlangıç noktaları), termal parametreleri (döküm sıcaklığı ve kalıp sıcaklığı) ve kalıp tasarımı (yolluk, dolun yüzeyi, hava cepleri, vakum ağızları, kalıp malzemesi ve kalıp yüzey kalitesi) üretilecek malzemenin kalitesinde etkin rol oynamaktadır. Bu nedenle bu parametrelerin doğru seçilmesi optimum ürün elde edilmesi için önemlidir (Arda vd., 2005; Çolak vd., 2005; Savaş, vd., 2005; Marques, 2006; Boydak, 2007; Gözen, 2007; Seo, vd., 2007a, 2007b; Uludağ, 2007; Yan, vd., 2007; Flender, vd., 2008; Kuru, 2009; Yüksel ve Göloğlu, 2009; Ertürk, 2010).

Yukarıda bahsedilen parametrelerin uygun seçilmemesi halinde basınçlı döküm yöntemi ile üretilen parçalarda bazı hatalar meydana gelmektedir. Meydana gelen hataları şu şekilde sıralayabiliriz;

Çekme boşlukları (makro porozite), gaz boşlukları (mikro porozite), soğuk birleşmeler, yapışma, tabakalaşma, gözeneklilik, pullanma, akış çizgileri, yüzey çöküntüleri, çekme çatlamları, sert noktalar.

Çekme boşlukları (makro porozite), dökümü gerçekleştirilen metal alaşımı katı haldeyken, sıvı hale oranla daha az yer kaplamaktadır. Bunun sebebi katı haldeyken mikro taneciklerinin arasındaki bağlar daha sıkı ve kısa olmasıdır. Çekme boşlukları parça içerisinde en son katılaştıran ve uzun süre sıcak kalan (hot spot) noktalarında meydana gelir.

Katılma sırasında et kalınlığı yüksek olan, sıcak noktalar çevresinde bulunan kısımların daha erken katılması ve bu bölgenin katılması sırasında hacminin küçülmesi esnasında etrafından beslenemeyeceği için metal kendini çeker. Basıncılı döküm yöntemlerinde besleyici uygulama olmadığından bu bölgeler içerisinde boşluklar meydana gelebilir.

Bu tip hataların önlenmesi için, boşluğun konumuna göre kalıpta soğutma sistemleri veya daha hızlı soğuma sağlayan kalıp elemanlarının kullanımı ile katılma bilinçli bir şekilde yönlendirilebilir. Ya da yolluk girişi tarafından parçanın daha uzun süre beslenebilmesi için yolluk girişi kalınlığı artırılabilir. Bu arttırmayı ince taşlama ile yapılmalıdır. Ayrıca enjeksiyon işleminin daha düşük sıcaklıklarda yapılması da bu hatanın giderilmesine yardımcı olabilir.

Gaz boşlukları (mikro porozite), kalın kesitli döküm parçalarında az sayıda büyük boşluklar veya parçanın içinde küçük gözenekler şeklinde yüzeye yakın yerlerde görülür. Çekme boşlukları düzensiz ve pürüzlü oldukları halde gaz boşlukları yuvarlak ve düzgündür. Bunun sebebi sıvı metal içerisindeki gaz ve buharların döküm esnasında açığa çıkmalarıdır (Aslan, 2007; Sirviö vd., 2007).

En çok karşılan porozite sebebi uygun kalıp tasarımının yapılmamış olmasıdır. Porozite; bir malzemenin boşluk hacminin toplam hacmine oranı olarak tanımlanır ve % ifadesi ile belirtilir. Kalıbın dolumu esnasında ergimiş haldeki metal kalıp boşluğunda ilerlerken orada bulunan gazları sıkıştırarak kalıp boşluğundan tahliye edilir. Gazlar kalıp boşluğundan tahliye edilmezse parça içinde sıkışarak poroziteye sebep olur. Porozite oluşumunun önüne geçilmek için hava cebi adı verilen ceplerin doğru yerlere konumlandırılması önemlidir. Diğer bir önleme yöntemi ise kalıp boşluğuna vakum cihazı yardımıyla vakum

uygulanmasıdır. Vakum cihazları ergimiş metalin kalıba doluma başladığı anda aktif hale gelerek kalıp boşluğunda bulunan gazların vakumlanmasına yardımcı olur.

Basınçlı döküm prosesinde enjeksiyon 1. ve 2. Faz hızlarının ve faz geçiş noktalarının yanlış seçilmiş olması da porozite oluşumuna sebep olur. 1. fazın görevi haznede bulunan ergimiş haldeki metali yavaşça yolluğa ve dolum ağzına götürmektedir. 1.fazın yanlış ayarlanması halinde bu süpürme sırasında sıvı metal çalkalanır ve girdaplar oluşur. Bunun sonucu olarak da sıvı metal içine hava hapsolür. 2.fazın gereğinden yüksek tutulması halinde sıvı metal dolum ağzından çok yüksek hızlarla püskürecektir. Bu püskürme sonucunda sıvı metal içinde hava saklanır. Saklanan havalar dolum sonrasında parça içinde porozite oluşumuna sebep olurlar. Oluşan bu tip porozitelerin önüne geçmek için enjeksiyon 1. ve 2. faz hızlarının ve faz geçiş noktalarının gerekirse deneme yanılma yoluyla doğru değerlerde ayarlanması gerekmektedir.

Basınçlı döküm yönteminde dökümü gerçekleştirilen alaşımlardan bazıları çok yüksek sıcaklıklarda ergitilmekte ve bu sıcaklıklarda döküm işlemi yapılmaktadır. Yanlış kullanılan kalıp yağlama yağları yüksek sıcaklıklarda yanabilir dolayısıyla bu durum gaz çıkışına sebep olur. Çıkan gazlar dökümü gerçekleştirilen parçanın yüzeyinde hava kabarcıkları yani porozite oluşumuna sebep olur. Bu tip porozite oluşumunun önüne geçmek için yüksek sıcaklıklara yanmaya dayanıklı kalıp yağlama yağları kullanılmalıdır (Aslan, 2007).

Dolum sırasında kalıp boşluğu içinde daha önceden katılaşmış bölgelerin daha sonra gelen sıvı metal ile birleştiği ve bu birleşme sonucu aralarında oksit tabakası nedeniyle kaynamanın tam olmadığı bölgelerde de porozite görülebilir. Bu hatanın başlıca nedenleri metalin dökümündeki kesiklikler, malzemenin viskozitesinin doğru ayarlanamıyor olması, yolluk sisteminin yetersizliği nedeniyle besleme hızının yavaş olması, döküm sıcaklığının düşük ve cidar kalınlıklarının ince olması gibi nedenler sıralanabilir (Uludağ, 2007).

Bilgisayar teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak bilgisayar destekli tasarım ve modelleme yazılımları ile döküm simülasyonları yapılabilmektedir. (Procast, Magma-Soft, VULCAN, Flow3D, Novacast, Solidcast, Dynacast, DIANA, MAVİS, SOLSTAR, Simulor, Stefan Software vb.). Bu programlar yardımıyla döküm işlemi bir çok farklı döküm parametrelerine göre gerçeğe çok yakın simülasyon sonuçları elde edilir. Döküm simülasyon programlarından elde edilen dolum ve katılaşma sonuçlarının analiz yapılarak kalıp üretimi yapılmadan önce hataların tespit edilerek doğru parametre değerlerinin belirlenmesi sağlanır ve bu tasarımdaki hataların tespitinin yanında üretimde maliyeti azaltma ve iş verimini de arttırmaya yarar sağlamaktadır (Imwinkelried ve Homberger, 2001; Çolak ve Kayıkcı, 2005; Arda ve Kayıkcı, 2005; Savaş, vd., 2005; Marques, 2006; Boydak, 2007; Gözen, 2007; Uludağ, 2007; Seo, vd., 2007a, 2007b; Yan, vd., 2007; Flender, vd., 2008; Koru, 2009; Yüksel ve Göloğlu, 2009; Ertürk, 2010).

Yapılan bu çalışmada, alüminyum alaşımı olarak A360 alaşımı kullanılmıştır. Geometri sıcaklık ölçmeyi ve analizleri daha iyi yapabilmek için silindirik olarak seçilmiştir. Silindirik geometrinin üç boyutlu modeli solidworks programı kullanılarak elde edilmiştir. Modelin stl uzantılı dosyası Flow3D döküm simülasyon programında simüle edilmek üzere programa aktarılmıştır. Simülasyon sonuçları da dikkate alınarak A360 alaşımı ile toplamda 64 farklı parametre ve her parametrenin en az 5 defa tekrarı ile 320 adet parça üretilmiştir. Üretilen parçalar ile simülasyon sonuçlarının uygunluğu incelenerek enjeksiyon dinamik ve termal parametreleri belirlenmiştir. Döküm parametreleri kalıp sıcaklığı, döküm sıcaklığı, enjeksiyon basıncı, piston hızı ve vakumlu-vakumsuz gibi değerler ile hem simülasyon hem de deneyler tekrar edilerek parça imalatı yapılmıştır.

Simülasyon ve deney parametreleri aşağıda verilmiştir.

- Döküm sıcaklığı 953 ve 1053 K seçilmiştir.
- Kalıp sıcaklığı 373-433-493 ve 553 K olmak üzere 4 farklı sıcaklık değerlerinde seçilmiştir.
- Enjeksiyon basıncı 100 ve 200 bar olarak seçilmiştir.
- Piston hızı (ikinci faz hızı) 1.7 ve 2.5m/s olarak seçilmiştir.
- Deney ve simülasyonlar vakumlu ve vakumsuz şartlarda tekrarlanmıştır.

Toplamda farklı döküm parametrelerinde Flow3D simülasyon programı ile 96 adet simülasyon işlemi ve 320 adet parça dökümü gerçekleştirilmiştir. Yapılan bu simülasyonlardan kalıp sıcaklıkları, döküm sıcaklıkları, enjeksiyon basıncı, faz hızları, son hava, dolum süresi, katılma süresi, dolum hızları ve porozite sonuçları analiz edilmiştir. Elde edilen simülasyon sonuçları incelenerek uygun enjeksiyon parametreleri belirlenmiştir.

Yapılan çalışmalarda kalıp-döküm sıcaklıklarının, basıncın ve faz hızlarının yükseltilmesi ile parça dolum hızının, parça katılma süresinin düştüğü görülmüştür. Kalıp ve döküm sıcaklıklarının ve basıncın artması ile parçanın porozite oranlarının düştüğü ikinci faz hızının artması ile kısmen porozite oranlarının arttığı görülmüştür.

Yapılan deneylerde vakum uygulanırken vakumsuz şartlara göre parçanın daha kısa sürede dolum yaptığı, yüzey kalitesinin daha iyi olduğu da gözlemlenmiştir. Bunun nedeni dolum esnasında vakumun aktif olması ve kalıp boşluğunda sıkışan gaz ve havayı emerek alüminyumun daha çabuk katılaştığı ve yüzey pürüzlülüğünün azaldığı görülmüştür.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Serçe (2015), basınçlı döküm prosesinde termal, dinamik parametrelere ve kalıp yüzey pürüzlülüğüne bağlı, Flow3D döküm simülasyon programı ile çalışmalar yapmıştır. Çalışmalarında enjeksiyon hızı olarak 1, 3 ve 5 m/s değerlerini kullanmıştır. Farklı kalıp ve döküm sıcaklıklarında kalıp yüzey pürüzlülüğüne bağlı porozite sonuçlarındaki değişimleri incelemiştir. Döküm ve döküm sıcaklığının artması ile porozite değerlerinde azalma gözlenirken 2. faz hızının artması ile porozite miktarında artış gözlenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda kullanılan dişli kutusu modeli için en ideal şartları 573 K döküm sıcaklığı, 1053 K döküm sıcaklığı ve enjeksiyon hızı olarak 2 m/s olarak belirlemiştir.

Liu vd. (2013), basınçlı döküm metodunda vakum uygulamasının üretilen parçanın mekanik özelliklerine etkisini araştırmışlardır. Yaptıkları çalışmada AT72 magnezyum alaşımı ile çekme deneyi numunesini hem vakum uygulaması ile hem de vakum uygulaması olmadan dökmüş ve bu malzemeleri çekme deneyine tabi tutmuşlardır. Çalışma sonucunda vakum uygulaması ile üretilen çekme deneyi numunelerinin bir miktar daha yüksek çekme gerilimlerine dayandığı görülmüştür. Buradan elde ettikleri sonuç olarak vakum uygulamasıyla elde edilen malzemenin mikro yapı kalitesinin yüksekliğini görmeyi başardıklarını savunmuştur.

Wan vd. (2013), basınçlı döküm metodunda vakum uygulamasının parçanın mekanik özelliklerine etkisi üzerine çalışma gerçekleştirmişlerdir. Bu doğrultuda AlMgSiMn malzemesi ile vakum uygulamalı ve vakum uygulaması olmadan çekme deneyi numuneleri dökmüşlerdir. Sonrasında dökülen numunelere çekme deneyi ve yoğunluk ölçümleri gerçekleştirmişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre vakum uygulaması parçanın mekanik özelliklerinde, çekme dayanımının bir miktar artmasına yardımcı olmuştur. Böylelikle vakum uygulaması ile üretilen parçaların yoğunluklarının daha yüksek olduğunu belirlemiştir.

Jin ve Kang (2012), vakum uygulamalı basınçlı döküm yöntemi ile proton değiştirmeli yakıt hücrelerinin alüminyum bipolar plakalarının üretimi sırasında enjeksiyon parametrelerinin mikro poroziteye etkisini ve parça kalitesine etkisini araştırmışlardır. Çalışmalarında döküm malzemesi olarak Silafont-36 alüminyum alaşımı ve kalıp malzemesi olarak SKD 61 malzemesini kullanmışlardır. Çalışma hem deneysel olarak yapılmış hem de simülasyon işlemleri gerçekleştirilmiştir. Toplamda 14 farklı deney parametreleri belirlenerek döküm işlemlerini gerçekleştirmişlerdir. Kullanılan parametreler, döküm sıcaklığı olarak 923, 973 ve 1003 K şeklindedir. Birinci faz hızı olarak 0.3 ve 0.5 m/s kullanılmış, ikinci faz hızı olarak ise 1.5, 2, 2.5 ve 3 m/s hızları kullanılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda döküm sıcaklığının artması ile porozite miktarının düştüğünü saptamışlardır. Ayrıca ikinci faz hızı olarak 2 ve 2.5 m/s hızları diğer hız değerlerine kıyasla daha iyi sonuçlar vermiştir. İkinci faz hızı olarak en yüksek değer olan 3 m/s'nin ve en düşük değer olan 1 m/s hızlarının daha kötü sonuç vermesi ikinci faz hızının çok düşük veya çok yüksek seçilmesinin porozite oranını kötü etkilediğini göstermektedir. Yapmış oldukları deneylerde ikinci fazı çok yüksek aldıklarında anlık darbe vuruşu ile havanın hava ceplerinden çıkmadan malzemeye birleşerek soğuması, ikinci fazın çok düşük seçilmesiyle malzemenin kalıbı doldururken çok yavaş ilerlemesi ile hava yada gaz taneleri tam boşalmadan sıvı metalin donmasından dolayı sonuçlar kötü porozite oranını vermiştir.

Jin vd. (2011), çalışmasında vakum uygulamalı yüksek basınçlı döküm metodu ile yapılan deneylerde farklı birinci ve ikinci faz hızı değerlerine bağlı olarak mikro porozite oluşumunu incelemiştir. Bu doğrultuda birinci faz hızı olarak 0.3, 0.5 ve 0.7 m/s hızları ile ikinci faz hızı olarak 1.28, 1.7, 2.13 ve 2.5 m/s hızlarını kullanmışlardır. Çalışmanın sonucunda birinci faz hızının 0.3 m/s seçilmesi ve ikinci faz hızı olarak 2.5 m/s seçilmesi porozite oluşumunu düşürmüştür. Böylelikle birinci faz hızının düşük seçilmesi ve ikinci faz hızının yüksek seçilmesinin porozite oranını düşürdüğünü öne sürmüşlerdir.

Şirin (2010), NovaCast programı ile üretimi gerçekleştirilecek bir parçanın tek kalıpta bir adet ve dört adet üretimi yapılacak şekilde simülasyon işlemlerini

gerçekleştirmiştir. Simülasyonlar sırasında döküm parametrelerinden döküm sıcaklığını ve üçüncü fazın basınç değerini değiştirerek etkilerini incelemiştir. Sonrasında yaptığı simülasyon çalışmaları ile gerçek döküm işleminde bulunduğu sonuçları karşılaştırmıştır. Yaptığı çalışmalar sonucunda üçüncü fazın basınç değerinin yükselmesi ile çekinti boşluklarının (makro porozite) oranının azaldığını hem simülasyon programı ile hem de deneysel veriler ile saptamıştır. Döküm sıcaklığı için 1023, 973 ve 923 K sıcaklıklarını denemiş ve çöküntü yüzdesi bakımından en iyi sonuçları 923 K sıcaklığından elde etmiştir.

Boydak (2007), yaptığı tez çalışmasında yüksek basınçlı döküm yöntemi ile üretilen bir model üzerinden döküm parametrelerinin simülasyon ve deneysel metotlar ile incelemesini gerçekleştirmiştir. Döküm parametreleri olarak, kalıp sıcaklığını 293 K, 573 K ve 673 K incelemiştir. Çalışma sonucunda simülasyon verileri ile deneysel sonuçları karşılaştırmış ve sonuçların çok yakın değerler olduklarını tespit etmiştir.

Sirviö vd. (2007), yüksek basınçlı döküm metodunda birinci faz hızının dökümü gerçekleştirilen parçadaki porozite oluşumunu incelemiştir. Yapılan çalışmada ilk olarak birinci faz direkt istenen hız değeri ile dolum işlemi gerçekleştirilmiştir, yani piston çok hızlı bir şekilde 0.2 m/s hıza ulaşmış ve bu hızla ergimiş metali kovan boyunca süpürmüştür. Bu sırada ergimiş metal kovan içerisinde çalkalanmış ve içine hava hapsederek porozite oluşumu yüksek miktarda olmuştur. İkinci durumda ise birinci faz hızı daha geniş bir zaman aralığına yayılarak ivmeli bir şekilde uygulanmış ve maksimum birinci faz hızı olarak 0.7 m/s kullanmışlardır. Birinci fazın bu şekilde uygulanması ile sıvı metal hazne içinde çalkalanmamış ve içine hava hapsedmediğinden dolayı daha iyi porozite sonuçları verdiğini gözlemlemiştir.

Yan vd. (2007), yaptıkları çalışmada yüksek basınçlı döküm metodu ile üretilecek bir parça için yolluk ve hava cebi tasarımını ve tasarımın simülasyonunu yapmışlardır. Sonrasında elde edilen simülasyon sonuçları ile tasarım üzerinde optimizasyon yapılmış ve tekrar simülasyon işlemleri gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak simülasyon programları kullanılarak

optimizasyon yapılmış ve döküm ile katılma süreleri kısaltılarak daha kısa sürede ve aynı kalitede daha fazla parça üretilmesinin gerçekleştirilebileceği sonucuna varılmıştır.

Krimpenis vd., (2006), imalat sanayinin optimum proses parametrelerini sağlayabilmeleri için sistematik bilgiyi doğru ve yeterli şekilde toplamaları gereklidir. Yapılan çalışmalarda, yapay sinir ağları (neural network) modelleme yöntemi kullanılarak, optimum proses parametreleri belirlenmesine yönelik yapılan çalışmalar mevcuttur. Proses parametrelerinin kullanılmasında giriş verileri olarak, kalıp sıcaklığı, döküm sıcaklığı, 1. ve 2. faz hızı girilmiştir. Çıktı olarak ise katılma zamanı (s), ve döküm hataları ile ilgili bilgiler verilmiştir. elde edilen verilere göre, 780 °C döküm sıcaklığı, 125 °C kalıp sıcaklığı, 0.15 m/s, 1 faz hızı, 8.11 m/s ikinci faz hızı değerlerinin seçilmiş olduğu durumun, modellemede optimum şartı oluşturduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Yüksek basınç, sıvı metal ile kalıp arasındaki temas alanı üzerinde etkili bir büyüklüğe sahiptir. Yüksek basınç ile sağlanan bu temas başlangıçta ara yüzeyde etkili bir ısı transfer katsayısının oluşmasını sağlar. Nishida ve Matsubara, silindir geometri şeklindeki kalıba basınç uygulayarak basınçlı döküm prosesine benzer bir çalışma yapmışlardır. Bunun sonucunda uygulanan yük ile ara yüzeyde oluşan ısı transferinde ihmal edilemeyecek kadar bir büyüme olduğunu görmüşlerdir (Akar,2006).

Verran vd. (2006), yaptıkları çalışmada yüksek basınçlı döküm metodunda birinci ve ikinci faz hızı ile sıkıştırma fazı olan üçüncü fazın etkisini incelemişlerdir. Bu doğrultuda birinci faz hızı olarak 0.14, 0.27 ve 0.29 m/s hızları kullanılmıştır. İkinci faz hızı olarak kullanılan ortalama değerler ise 1.3 ve 2.5 m/s şeklindedir. Üçüncü faz için kullanılan basınç değerleri 15 MPa, 22.5 MPa ve 30 MPa şeklindedir. Yaptıkları çalışmalarda hem simülasyon hem de döküm işlemi gerçekleştirmişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre ikinci faz hızının yükselmesi porozite oranının yükselmesine sebep olmuştur. Aynı şekilde birinci faz hızının yükselmesi de yine porozite miktarının yükselmesine sebep olduğunu saptamışlardır. Ayrıca üçüncü fazın basınç değerinin yükselmesi

porozite oluşumunu düşürdüğü saptanmıştır. Sıkıştırma basıncının doğru ayarlanması gerektiğini anlatmaya çalışmıştır.

Dour vd., (2005), Matthew vd., (2006), basınçlı döküm prosesinde, döküm basıncı, gecikme zamanı, kalıp başlangıç sıcaklığı ve enjeksiyon hızının ara yüzey ısı transfer katsayısına ve döküm kalitesine (porozite) etkisini araştırmışlardır. Isı akısı ve ara yüzey ısı transfer katsayısı maksimum değerlerinin kalıp başlangıç sıcaklığının bir fonksiyonu olarak elde etmişlerdir. Enjeksiyon makinesi parametreleri olarak yüksek hız için 3.8 ve düşük hız için ise 1.8 m/s seçilmiştir. Tüm parametreler dikkate alındığında ara yüzey ısı transfer katsayısını ve poroziteyi iki temel parametre etkilemektedir. 1) kalıp başlangıç sıcaklığı 2) doldurma fazındaki maksimum hız değeridir. İkinci faz hız değerinin artması ile porozite miktarında artış gözlenmiştir.

Savaş vd. (2005), yaptıkları çalışmada alüminyum-silisyum alaşımlarının dökümünde mikro porozite problemini incelemişlerdir. Taguchi deney tasarım yöntemi kullanılarak sekiz farklı deney yapmışlardır. Yaptıkları deney sonuçlarına göre, katılma hızının artması porozite oranını arttırdığını tespit etmişlerdir.

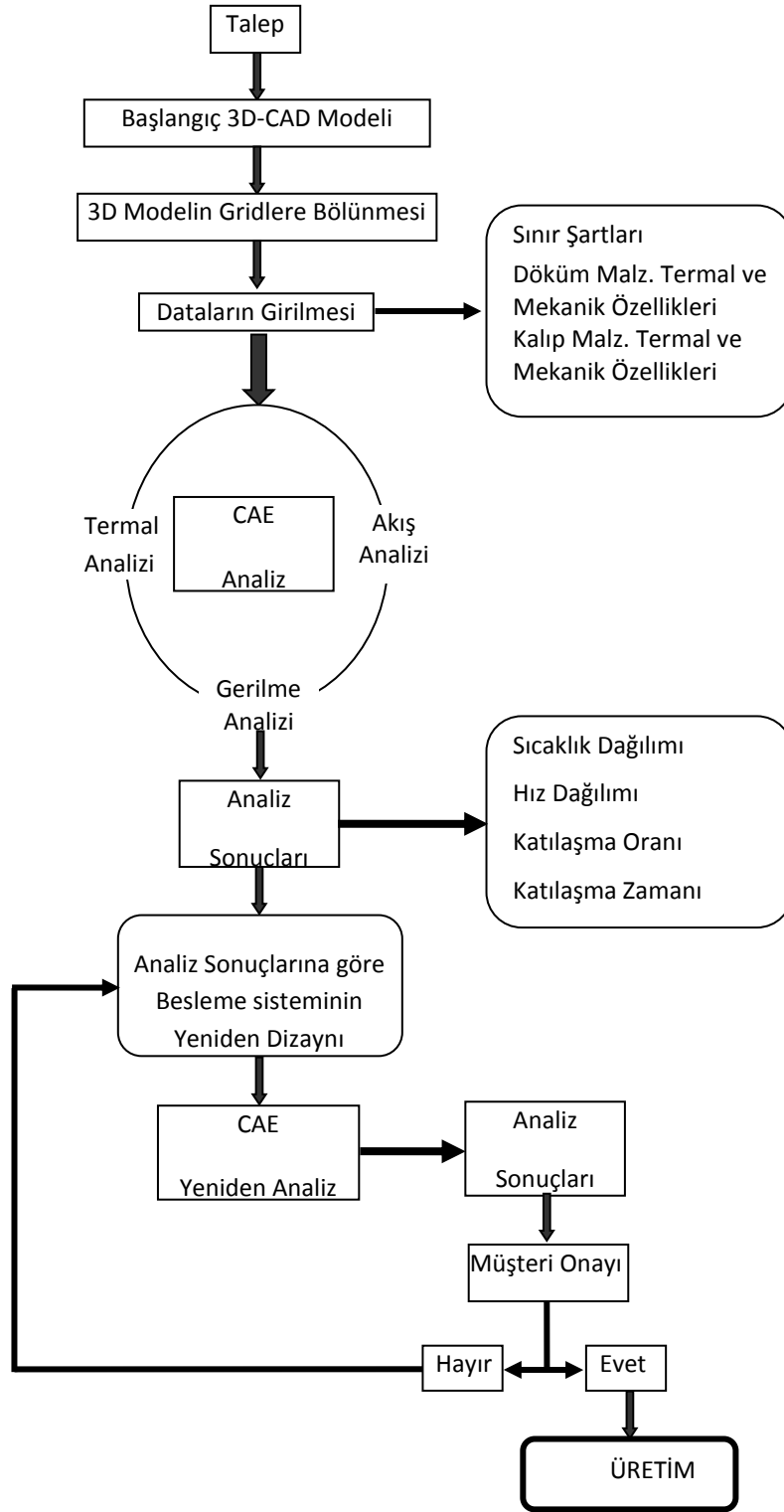
Huang vd. (2000), yaptığı çalışmada yüksek basınçlı döküm metoduyla AM60B magnezyum malzemesi ile üretilen bir paçadaki porozite oluşumunu faz hızlarına bağlı olarak incelemişlerdir. Çalışmada birinci faz hızı olarak 0.08 ve 0.16 m/s hızları kullanılmıştır. İkinci faz hızı olarak 0.44 ve 0.88 m/s hızları ile üçüncü faz olarak da 198 ve 237 bar basınç değerleri kullanılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda birinci faz hızının düşük seçilmesi ve ikinci faz hızının yüksek seçilmesinin porozite oluşumu düşürdüğünü saptanmışlardır. Üçüncü faz basıncının yüksek seçilmesi ise yine porozite miktarını azalttığını saptamışlardır.

3. BASINÇLI DÖKÜMDE SİMÜLASYON UYGULAMASI

Simülasyon diğer adıyla benzetim; teorik veya fiziksel gerçek bir sistemin, bilgisayar ortamında modellendikten sonra bu model ile sistemin işletilmesi amacıyla yönelik olarak, sistemin davranışını anlayabilmek veya değişik stratejileri değerlendirebilmek için deneyler yürütülmesi, bu sistemin özelliklerini ve davranışlarını bilgisayar aracılığıyla değerlendiren bir tekniktir.

Çoğu alanda simülasyon tekniğinden yararlanılmaktadır. Simülasyonu günümüzden bir örnekle açıklamak gerekirse ehliyet kurslarında şoför adayları trafiğe çıkmadan önce simülasyon üzerinde kendilerini eğiterek gerçek bir araba kullanmışçasına deneyim kazanırlar. Simülasyondaki temel amaç gerçeğe en yakın sonucu bulabilmektir.

Basınçlı dökümde kullanmış olduğumuz döküm simülasyonu ise, bir bilgisayar programı yardımıyla döküm prosesi sırasında gerçekleşecek olan olay ve durumları hesaplayarak, gerçeğe en yakın bir sonuç elde edilmesine dayanır. Bu tip programlar hesaplama yaparken sonlu elemanlar yöntemi (FEM), sonlu farklar metodu (FDM) kullanılmaktadır. Bu amaçla geliştirilmiş çeşitli programlar mevcuttur. Bunlar; ProCast, NovaCast, MagmaSoft, Vulcan, SolidCast, Flow-3D Cast vb. (Arda, 2006). Şekil 3.1'de simülasyon programları için genel bir akış diyagramı verilmiştir.

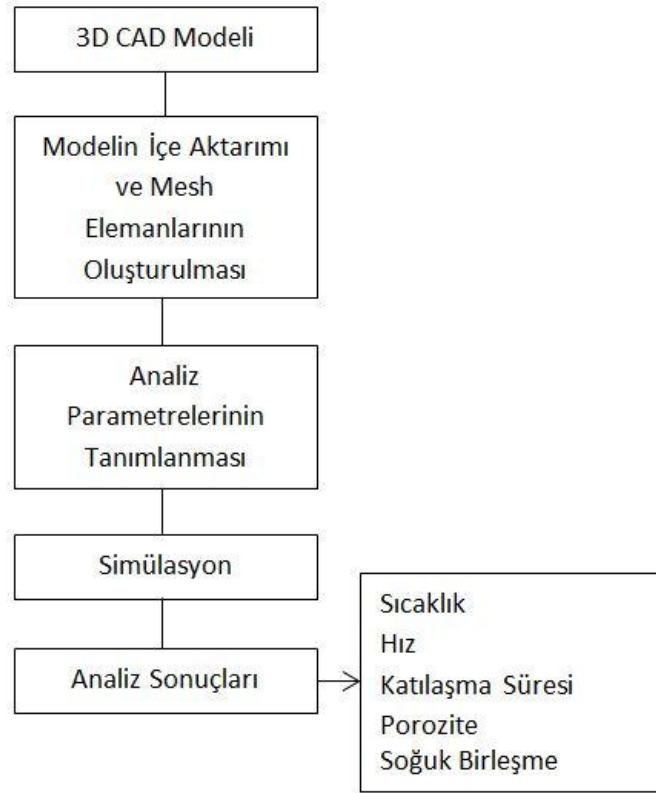


Şekil 3.1. Simülasyon modeli iş-akış grafiği (Shamasundar vd., Margues, M.J.)

Simülasyon programlarının kullanım amacı daha öncede belirttiğimiz gibi gerçeğe yakın sonuçlar elde ederek gerçekte oluşabilecek hataları önceden görerek o hataların oluşmasına engel olmaktır. Döküm işlemini gerçekleştirmeden olabilecekleri önceden görmek ve buna göre döküm işleminde

gerekli düzenlemeleri yaparak en uygun şartlarda en uygun ürünü elde etmektir. Çünkü basınçlı döküm yöntemindeki küçük hatalar sonucunda malzemenin deforme edilmesi veya hurdaya çıkması durumunda hem iş kaybı hem de ekonomik kayıp olacaktır ya da gözle görülemeyen malzeme dayanımında veya yüzey kalitesinde hatalar meydana gelebilir.

Parça kalitesine doğrudan etki eden yolluk tasarımı, hava cebi tasarımı, enjeksiyon fazları, döküm ve kalıp sıcaklığı gibi parametrelerin doğru belirlenmesi gerekmektedir. Bu durumda döküm simülasyon programlarını kullanarak ve belirlenen CAD tasarım ile parametrelere bağlı olarak döküm işleme sürecini simüle ederek kalıp sıcaklığı, döküm sıcaklığı, basınç, enjeksiyon hızları, soğuk birleşme, son hava, makro ve mikro porozite, dolum süreleri, katılma süreleri, çekme boşlukları gibi döküm hatalarını önceden görmemizi sağlamaktadırlar. Şekil 3.2’de döküm simülasyonu programlarının uygulama adımları için bir akış diyagramı verilmiştir.



Şekil 3.2. Döküm simülasyonu aşamalarının iş akış diyagramı (Marques, 2009)

Döküm simülasyon programları ile yapılan işlemlerde çeşitli sonuçlar elde etmek mümkündür. Bu işlemler gerçekleştirilirken önemli olan, doğru döküm parametrelerinin bilinmesi ve sisteme doğru tanımlanması gerekmektedir.

Simülasyon işlemi sonucunda elde edilen verileri şu şekilde sıralayabiliriz;

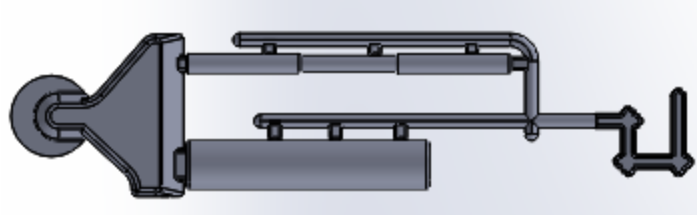
- Kalıp dolumu esnasında ergimiş metalin hareketi ve hızı,
- Dolumun ne kadar sürede gerçekleşeceği,
- Kalıp yüzeylerinde aşınma beklenen yerler,
- Dolum sırasında ergimiş metalin sıcaklığı,
- Katılma süresi,
- Katılma süresinde en son katılan bölge,
- Kalıp dolumu sonucu kalıp içinde sıkışan havanın hapsolacağı bölgeler,
- Makro ve mikro porozite miktarı

Döküm simülasyonu ile birçok avantajlar elde edilmektedir. Bu avantajları kısaca açıklamak gerekirse;

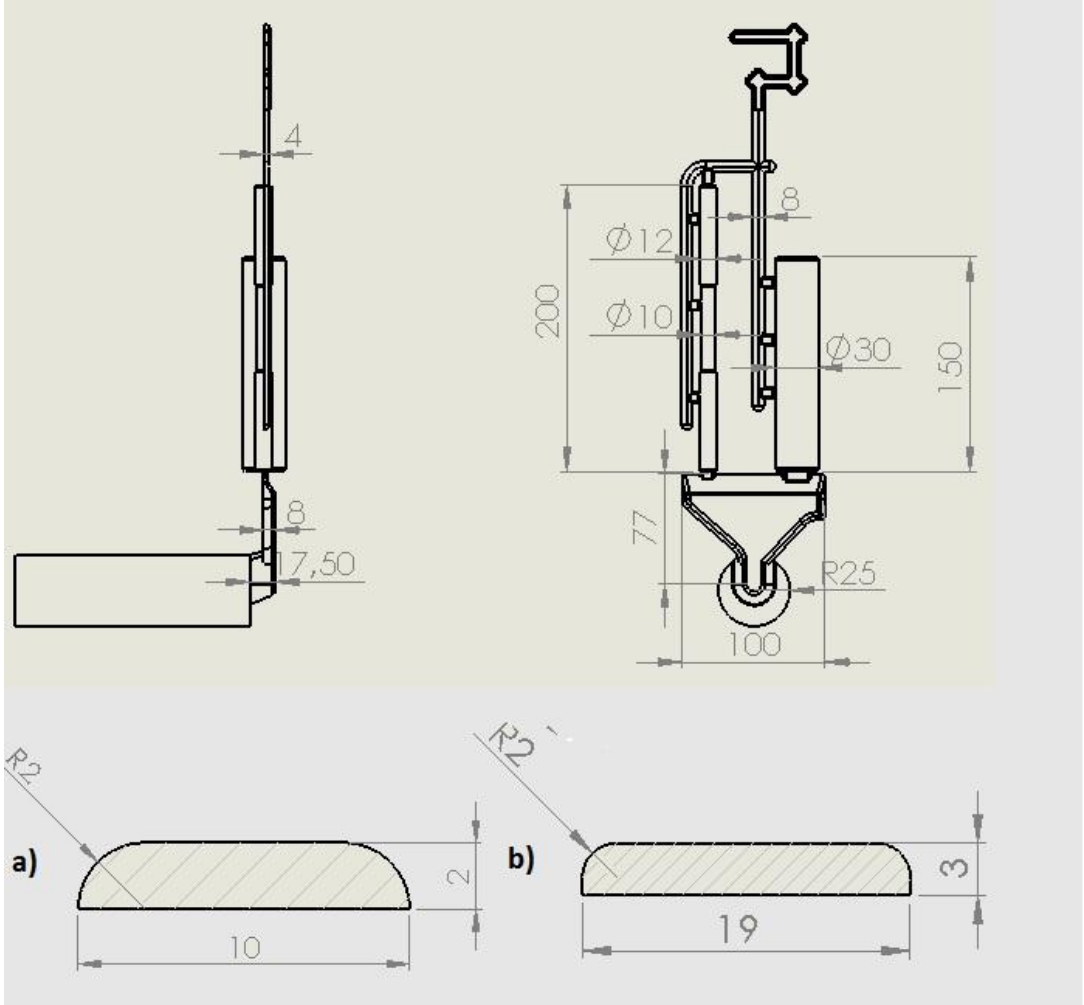
Simülasyon programları ile üretim kalitesi en iyi seviyeye yükseltilebilir, bozuk döküm miktarı en aza indirilir, en uygun kalıp tasarımı oluşturulabilir, yanlış kalıp üretiminin önüne ve bu sebepten kaynaklanabilecek maddi kayıpların da önüne geçilebilir. Kalıp tasarımı ve döküm parametreleri saptanırken yapılan deneme yanılma yöntemi yerine simülasyon yapılarak hem zamandan hem de boşa harcanan ergimiş metalden kazanç elde edilir. Bunlarda bize daha kaliteli ürün, daha seri üretim, daha az iş maliyeti ve ekonomik kazanç sağlar.

3.1. Basınçlı Döküm Simülasyonunun Model ve Grafik Gösterimleri

Basınçlı döküm simülasyonunu başlatabilmek için öncelikle silindirik geometriye sahip olan basınçlı döküm ile elde edilecek ürün CAD (SolidWorks) programında çizilerek 3 boyutlu hale getirilmiştir. Bu görüntü aşağıdaki şekil 3.3'de gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Basınçlı Döküm simülasyonu yapılacak parçanın 3 boyutlu CAD çizimi



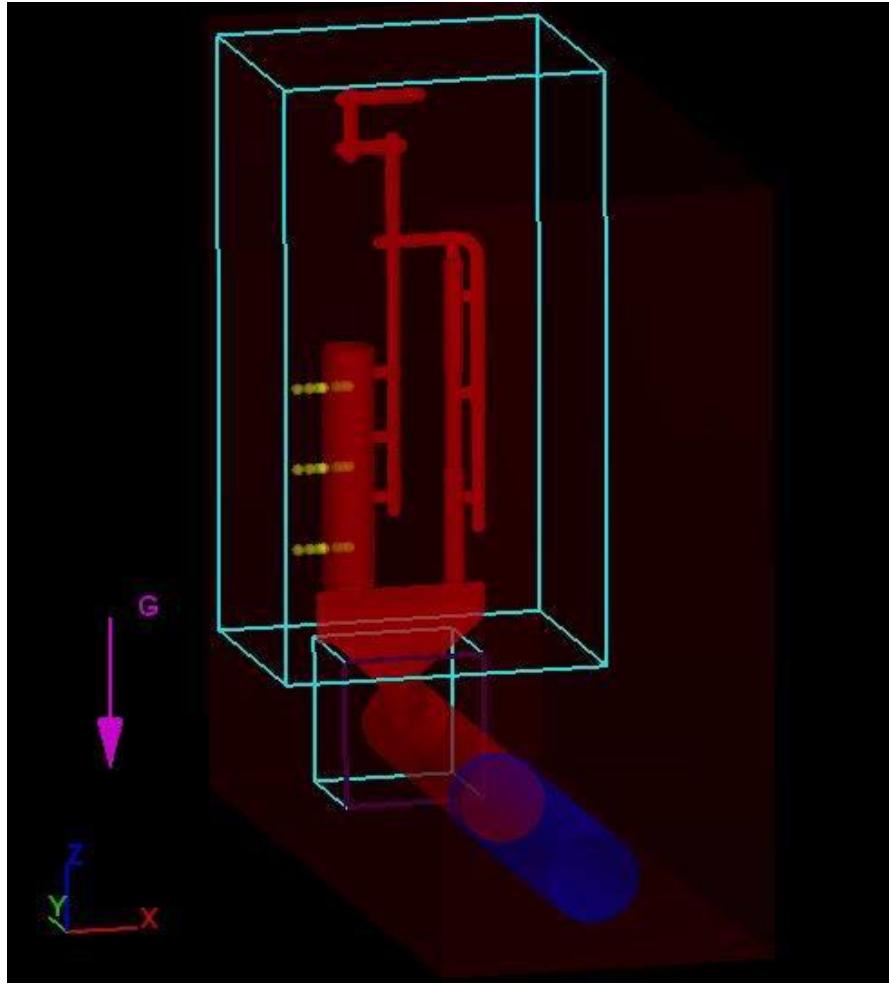
Şekil 3.4. Kullanılan modelin dolum ağı kesitleri (a, b), sol yan ve arka görünüşü

Şekil 3.4'de görüldüğü gibi dolum ağı kesitleri çapı 12 mm olan (a) ve çapı 30 mm olan (b) parçalar içindir.

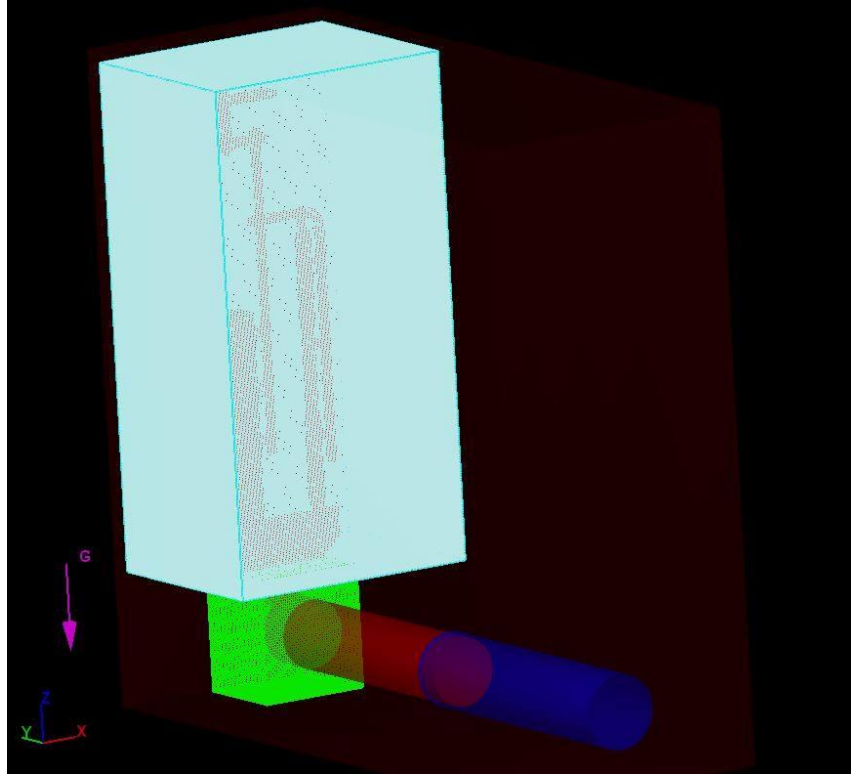
Simülasyonu yapılacak olan parçanın CAD programı ile çizildikten sonra stl dosya formatında kayıt edilerek parça simülasyon programına(Flow3D) aktırılır ve burada gerekli düzenlemeler yapıldıktan sonra dolum ve katılma simülasyonları yapılır.

Modelin tasarımı tamamlandıktan sonra simülasyon programı için kalıbın oluşturulması gerekmektedir. Elde edilen simülasyon sonuçlarının gerçeğe daha uygun olması için kalıp kullanılmıştır. Kalıp modellenirken dikkat edilmesi gereken tek husus kalıbın parçayı tam anlamıyla içine alabilecek büyüklükte olmasıdır.

Flow3D programında kalıp oluşturma işlemi daha farklı şekilde gerçekleştirilmektedir. Flow3D'de STL formatında kayıt edilen model programda içeriye aktarılırken katı cisim olarak değil oyuk olarak aktarılmakta ve modelin etrafına mesh sınırı kullanılarak kalıp oluşturulmaktadır.



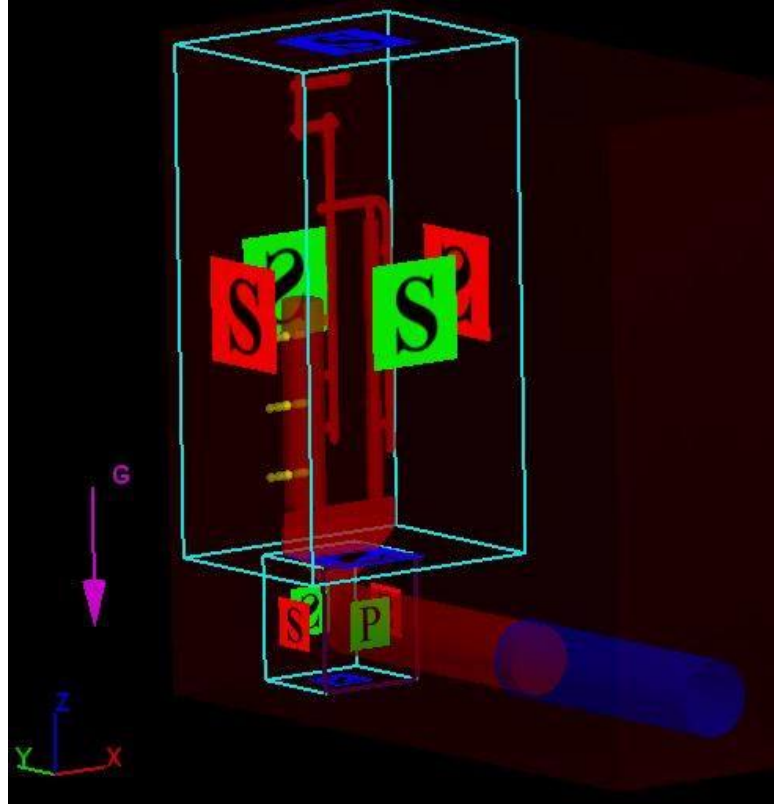
Şekil 3.5. Flow3D programında oluşturulan mesh sınırları



Şekil 3.6. Mesh oluşturulan modelin yüzey meshlerinin görüntüsü

Şekil 3.6'da görülen beyaz mesh'ler ana parçayı temsil etmekte ve toplamda 6083000 tane mesh bulunmaktadır yeşil renk ile gösterilen meshli bölge ise topuk kısmını ifade etmektedir ve 95880 tane mesh bulunmaktadır. Bu parça için toplamda 6178880 tane mesh kullanılmıştır.

Katılma simülasyonu sırasında bu ayarlamalara ek olarak üçüncü enjeksiyon fazı yani sıkıştırma fazının sağlanabilmesi için kovan kısmı ve piston modelden kaldırılarak yerine bu kısımlardan istenen miktarda basınç uygulanmıştır. Bu basınç uygulamasının yapıldığı ekran görüntüsü Şekil 3.7'de görülmektedir. Şekil incelendiğinde alt kısımda büyük "P" harfi ile ifade edilen kısım basıncın yani "Pressure" uygulandığı sınırları göstermektedir. Büyük "P" harfine çift tıklayarak açılan sekmeden "Pressure" butonu seçer ve istenilen basınç değeri girilir. Simülasyonu yapılan parça için basınç değerleri 100 ve 200 bar olarak girilmiştir. Sıkıştırma fazında yani üçüncü faz hızında 100-200 bar miktarında basınç uygulanmıştır.



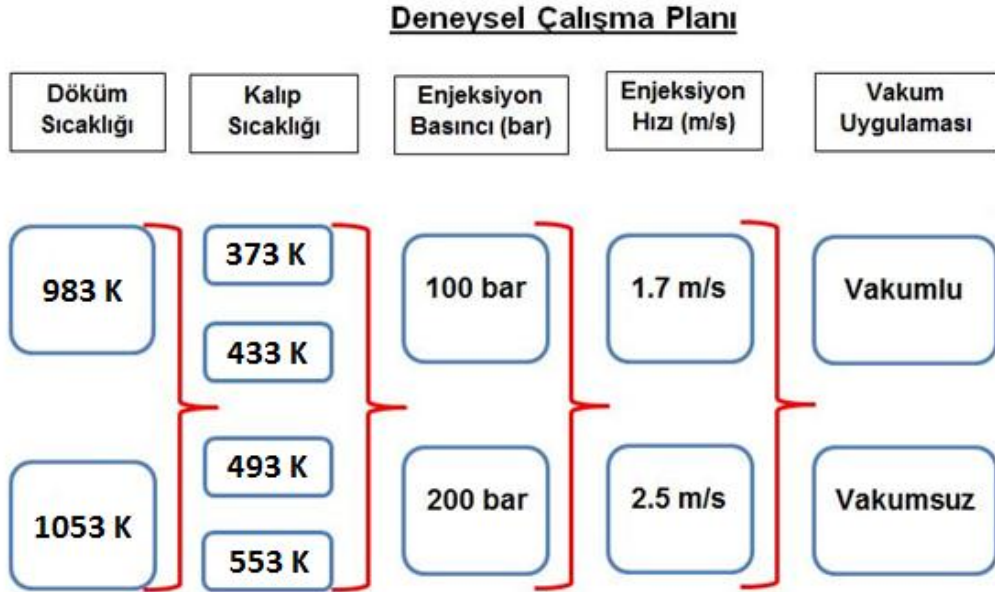
Şekil 3.7. Enjeksiyon üçüncü fazının uygulanması

Yapılan simülasyon aşamalarında döküm sıcaklığı, kalıp sıcaklığı, birinci ve ikinci faz hızları, dolun ve katılaşma için başlama zamanı, basınç değerleri gibi basınçlı dökümde elde edilecek ürün için istenilen tüm kriterlere özgün değerler verilerek gerçeğe en yakın yani en optimum sonuçlar elde edilir. Yapılan bu simülasyon çalışmalarında basınçlı dökümde etkili üretim yöntemi olan vakum uygulaması da yapılabilmektedir.

Bu çalışmada gerçekleştirilen dolun ve katılaşma simülasyonu için vakumsuz – vakumlu olmak üzere yapılmış 96 simülasyon modellerinin basınç, sıcaklık ve dinamik viskoziteye karşı göstermiş olduğu dolun ve katılaşma süreçlerinin 3 boyutlu zamana bağlı gösterimi ve incelenmesi yapılmıştır.

4. MATERYAL VE METOT

Bu çalışma hem deneysel hem de simülasyon programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışma basınçlı döküm prosesinde ürün kalitesini etkileyen termal ve dinamik parametrelerin belirlenmesine yönelik olarak sürdürülmüştür. Basınçlı döküm prosesi çok kısa sürede çok sayıda nihai ürün elde edilmesi mümkün kılmaktadır. Bu nedenle proses boyunca ve proses neticesinde etken parametrelerin özellikle deneysel olarak belirlenmesi önem arz etmektedir. Deneysel çalışmada yüksek basınçlı döküm makinesi (HPDC), silindirik geometrideki kalıp (H13), Dinamik parametre ölçüm cihazı (DC-200), Kalıp ısıtma soğutma regülatörü, sıcaklık ölçümleri için veri toplama kartı (NI), çekme test cihazı, Vakum ünitesi (Fondarex), ve simülasyonlar için Flow-3D döküm simülasyon programı kullanılmıştır. Sayılan bu altyapı kullanılarak şekil 4.1’de verilen deneysel çalışma planına uygun olarak deneyler tamamlanmıştır.



Şekil 4.1 Deneysel çalışma planı

Simülasyon ve deneysel çalışmalarda kullanılan kodlamalar; Basınç (P), enjeksiyon birinci faz hızı (V1), enjeksiyon ikinci faz hızı (V2), kalıp sıcaklığı (M), döküm sıcaklığı (C) ve sıcaklık değerleri Kelvin (K) olarak alınmıştır.

Döküm malzemesi olarak A360 alüminyum alaşımı, kalıp malzemesi olarak da H13 takım çeliği seçilmiştir. Çizelge 4.1'de kalıp ve döküm malzemesinin termofiziksel özellikleri verilmiştir.

Çizelge 4.1 A360 döküm ve H13 kalıp malzemesinin termofiziksel özellikleri

Malzeme	c, J/kg.K	ρ , kg/m ³	k, W/m.K
H13 (Kalıp)	435.37+0.2T	766.86-0.3174T	0.00029T-26.85
A360 (Döküm)	963	-0.4268T+2671.93	113
T Sıcaklık (K), Ergime Sıcaklığı 861 K, Katılaşma Sıcaklığı 828 K			

Çizelge 4.2 Basıncılı döküm alüminyum alaşımlarının uluslar arası standartlarda gösterimi (Ertürk, 2010)

Alaşım	%Al	%Fe	%Si	%Cu	%Mn	%Mg	%Zn	%Ni	%Sn	%Cr
A 360	Kalan	1	9-10	0.6	-	0.4-0.6	0.4	-	-	-
A 380	Kalan	1	7.5-9.5	3-4	-	0.1	2.9	-	-	-
A 383	Kalan	1	9.5-11	2-3	-	0.1	2.9	-	-	-
A 384	Kalan	1	10.5-12	3-4.5	-	0.1	2.1	-	-	-
A 413	Kalan	1	11-13	1	-	0.1	0.4	-	-	-
A 390	Kalan	-	17	4.5	-	0.6	0.5	-	-	-
A 369	Kalan	1	11-12	0.5	0.35	0.3-0.45	0.9	0.05	0.1	0.3-0.4

Alüminyum döküm malzemelerinin çoğu ana alaşım elementi olarak silisyum ihtiva ederler. Silisyumun %4-12 oranlarında katılmasıyla, malzemenin döküm özellikleri büyük oranda iyileşir. %12 Si bulunan ötektik noktaya yaklaşıldıkça erime sıcaklığı düşer ve katılaşma aralığı daralır. Silisyumun yanında bakır ve magnezyum elementleriyle mukavemet ve sertlik arttırılabilir. Soğuk ve sıcak yaşlandırma işleminin uygulanması ile bu artış daha da belirginleşir. Sadece %5-12 Si içeren alaşımlar ise orta dayanım, yüksek süneklik ve yüksek darbe dayanımının istendiği durumlarda kullanılır (ASM Handbook Volume 3, 1993).

Tez çalışmasında öncelikle teorik çalışmalar (simülasyon analizleri) tamamlanmıştır sonrasında ise deneysel çalışmalar yapılmış ve simülasyon değerlerinin gerçeğe uygunluğu incelenmiştir. Deneysel çalışma için gerekli altyapı aşağıda detaylı bir şekilde sunulmuştur.

4.1. Basınçlı Döküm Makinası

Döküm esnasında kalıp içindeki döküm malzemesi ve kalıbın sıcaklık dağılımı, döküm sıcaklığı, kalıp sıcaklığı, enjeksiyon basıncı, enjeksiyon 1. ve 2. faz hızları ve katılaşma sırasındaki sınır şartları gibi parametrelerin uygun şekilde belirlenmesi ise, hem enjeksiyon ürünü kalitesi hem de prosesin performansında etkili olan parametrelerdir. Bunun yanında DC-200 dinamik parametre ölçüm cihazından alınan zaman-hız-basınç grafikleri ihtiyaç duyulan parametreleri seçiminde ve gösterinde kullanılmaktadır. Şekil 4.2'de basınçlı döküm ve vakum makinasının genel görünümü mevcuttur.



Şekil 4.2. Basınçlı döküm makinesi ve vakum makinesi

Tez çalışmasında deneylerin yapıldığı 200 tonluk metal enjeksiyon makinası ile silindirik geometriye sahip A360 malzemesiyle elde edilen ürün için kullanılmıştır. Kalıp için H13 çeliği kullanılmıştır.

Basınçlı döküm makinasının genel kullanımı sıvı metalin sıkıştırılarak katılaşmasını sağlamaktadır. Bu makine ile faz hızlarını ve basınç değerleri ayarlanabilmektedir. Döküm sıcaklığı için ayrı bir yüksek sıcaklığa dayanıklı elektrikle çalışan bir ısıtma potası mevcuttur, döküm sıcaklığı buradan

ayarlanmaktadır. Kalıp sıcaklığı ise kalıp ısıtma ve soğutma regülatörü kullanılarak ayarlanmaktadır. Basınçlı döküm kalıbına bağlanan bu cihazlarla kalıp belli derecelere kadar ısıtılmakta ve gerektiğinde soğutulmakta böyle üretim hızı artırılabilir.

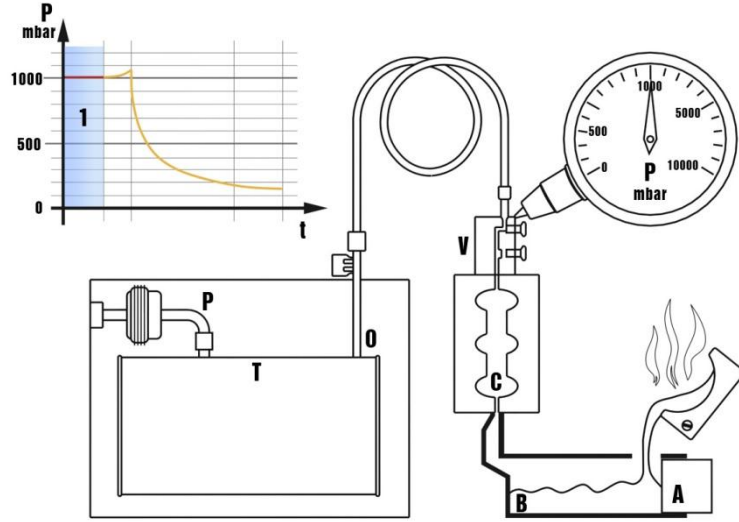
Son olarak vakum durumu şekil 4.2'de de görüldüğü gibi vakum cihazı ayrı olarak basınçlı döküm makinasına bağlanarak ve otomatik kontrol paneli kullanılarak havanın emilmesi yani vakum durumu sağlanmaktadır.

4.2. Vakum Cihazının Çalışma Sistemi

Kalıp boşluğundaki hava ve istenmeyen gazların tahliyesi amacıyla vakumlama sistemleri kullanılmaktadır. Geleneksel sistemlerde dolum fazı esnasında hava ceplerindeki basınç değeri çok kısa zamanda artmaktadır. Bu kısa zaman içerisinde hava ve gazlar mevcut hava ceplerinden atılamazlar. Bu atılamayan gazlar ergimiş metal içinde sıkışarak gaz boşlukları yani porozite meydana getirirler. Ayrıca enjeksiyon basıncı ve hava cebi uygulamasına bağlı olarak kalıp boşluğundaki basınç daha 1. fazda 3000 mbar değerlerine ulaşır. 2. fazda ise bu değer ikiye veya üçe katlanabilir. Vakum uygulaması ile kalıp boşluğunda alçak basınç oluşturulur ve bu sayede kalıp boşluğu tamamen dolana kadar hava ve gazlar tahliye edilmiş olur. Bu yolla kalıp boşluğundaki basınç 200mbar altında kalır. Vakum tahliye sistemi kullanıldığında döküm işlemi en iyi koşullarda başarıyla gerçekleştirilerek ideal döküm elde edilir.

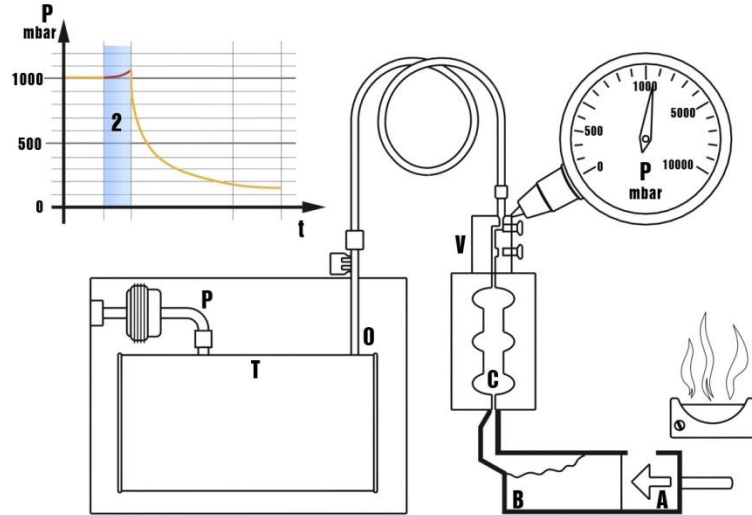
Vakum uygulamasının aşamaları;

Sıvı metal piston kovanına dökülür (B), Kalıp boşluğundaki hava basıncı (C) ortam basıncına eşit durumdadır. Kalıp kapanır ve vakum valfi (V) hazır duruma gelir. Vakum ünitesi bekleme konumundadır. Tank (T) içerisinde, pompa (P) yardımı ile yeterli miktarda vakum oluşturulup bu seviyede sabit tutulur. Birinci aşama Şekil 4.3'de gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Vakum uygulamasının birinci aşaması

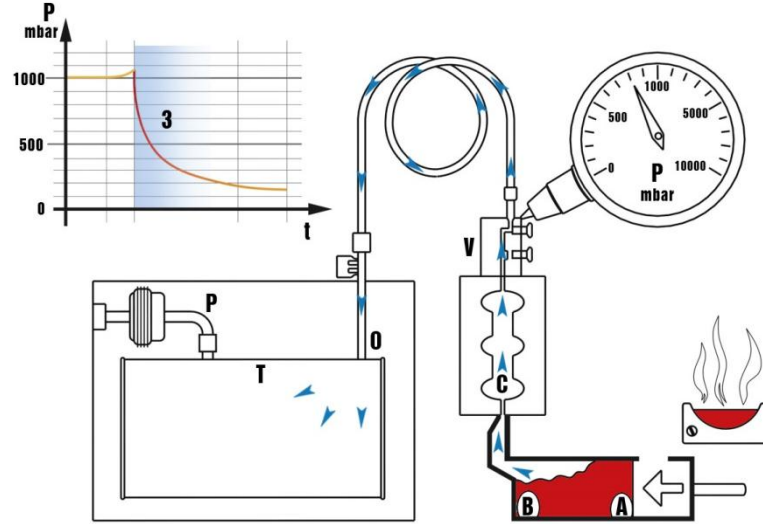
Vakum uygulamasının ikinci aşamasında enjeksiyon pistonu (A) ilerlemeye başlar ve bu esnada döküm tezgâhından vakum ünitesine bir sinyal gönderilerek geciktirme zamanlayıcısı başlatılır. Kalıp boşluğundaki hava basıncı (C) hafifçe yükselir. Vakum valfi (V) tahliye pistonu açık vaziyette bekleme konumundadır. Enjeksiyon pistonu (A) kovanın dolum ağzını geçtiğinde geciktirme zamanlayıcısının süreci dolacak ve vakum derhal başlatılacaktır. Tank (T) boştur ve vakumlama valfi (O) kapalı konumdadır (Şekil 4.4.).



Şekil 4.4. Vakum uygulamasının ikinci aşaması

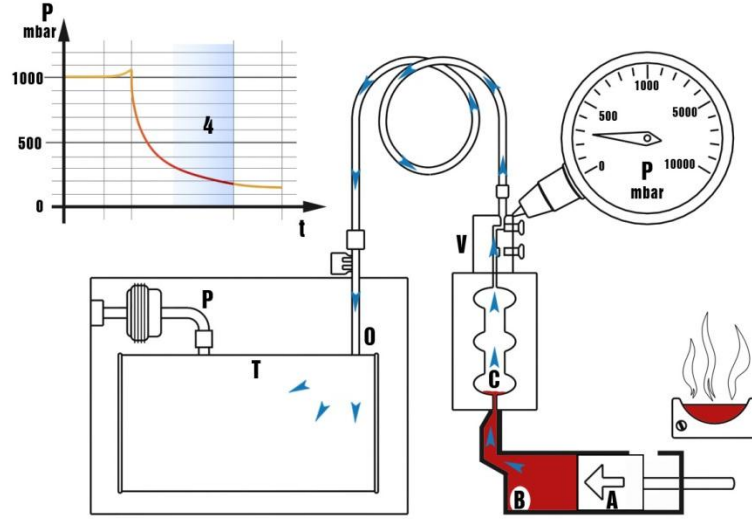
Üçüncü aşamada enjeksiyon pistonu (A) dolum ağzını geçince, geciktirme zamanlayıcısı vakum ünitesine vakum başlatma sinyalini verir. Vakumlama valfi

(O) açık konuma geçer. Vakum tankında sürekli oluşturulan düşük basınç (T), hortum, kalıp boşluğu (C) ve enjeksiyon kovanındaki (B) havayı süratle emer. Vakum valfi (V) hala bekleme konumundadır. Hava ve gazlar açık konumda bulunan tahliye pistonu boyunca tanka (T) çekilir. Bu esnada kalıp boşluğundaki (C) basınç gerçek zamanlı olarak vakum ünitesi tarafından süratle ölçülmektedir. Enjeksiyon pistonu (A) halen, hızlı faza (Enjeksiyonun 2.fazı) doğru yavaşça (Enjeksiyonun 1.fazı) ilerlemeye devam etmektedir (Şekil4.5.).



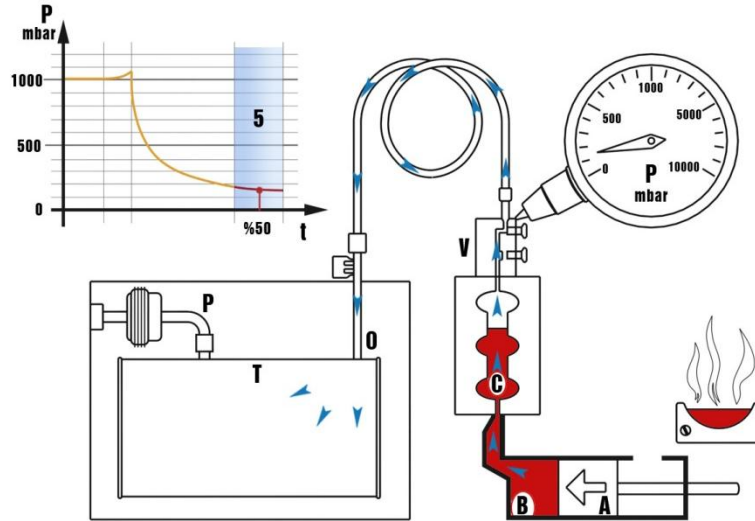
Şekil 4.5. Vakum uygulamasının üçüncü aşaması

Sıvı metal şimdi giriş yolluğunun sonuna ulaşmaktadır ve artık döküm tezgahı 2.faza (hızlı) geçiş yapacaktır. Kalıp boşluğundaki hava basıncı (C) maksimum vakum değerine yaklaşmaktadır. Vakum valfi (V) bekleme konumunda kalarak, hava ve gazların çıkışına müsaade eder ve oluşturulan vakum seviyesi ekranda gözlemlenebilir. Vakumlama valfi (O) açık konumdadır (Şekil 4.6.)



Şekil4.6. Vakum uygulamasının dördüncü aşaması

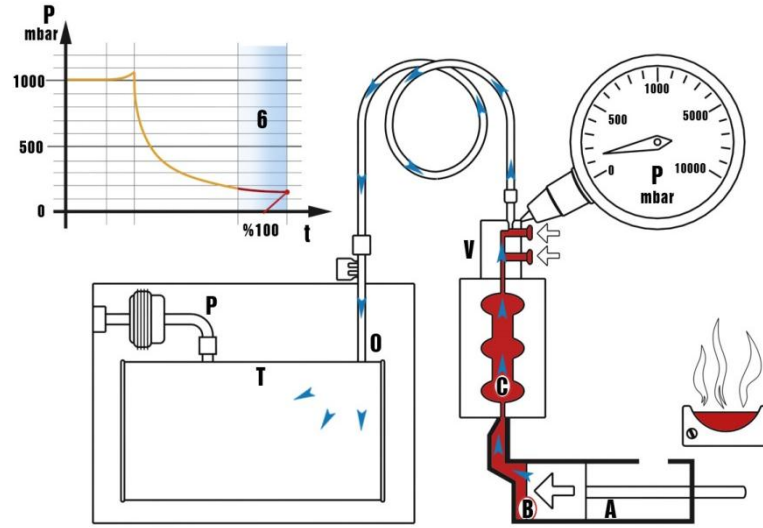
Vakum uygulanmasının beşinci aşamasında enjeksiyon pistonu (A) hızı ivmelenmektedir. İkinci faz enjeksiyon profiline ulaşılmıştır. Vakum valfinin (V) yüksek tahliye kapasitesinden dolayı, tüm döküm işlemi boyunca kalıp boşluğunda (C) düşük basınç ortamı sağlanır. Bu yüzden kalıp boşluğunun dolumu sırasında metalin ilerlemesine gösterilen direnç minimum seviyede tutulur. Vakum valfi (V) halen bekleme konumundadır. Hızla ilerleyen metalin kinetik enerjisi ile aktive olacaktır. Vakumlama valfi (O) hala açık konumdadır (Şekil 4.7).



Şekil 4.7. Vakum uygulamasının beşinci aşaması

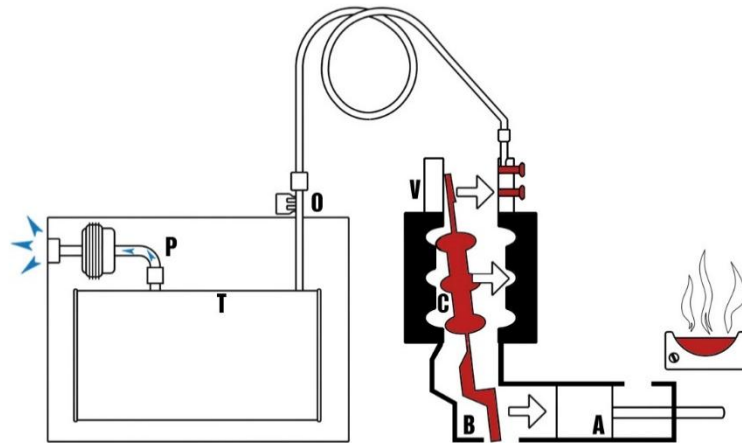
Altınca kademede alaşım tüm kalıp boşluğunu (C) doldurmuş ve vakum valfine (V) kadar ulaşmıştır. Alaşımın kinetik enerjisi sayesinde valfi kapatma

mekanizması aktif hale geçer. Vakum valfi (V) 1 milisaniye içinde kapanır. Döküm tezgâhı bu kademededen sonra 3. fazda yoğunlaştırma yapabilir. Vakum valfindeki tahliye pistonu kapalı olduğundan, vakum tahliye işlemi durmuştur. Vakum pompası (P) tank (T) içerisinde tahliye esnasında kaybedilen hacmi kompanze etmek için çalışmaktadır (Şekil 4.8.).



Şekil 4.8. Vakum uygulamasının altıncı aşaması

Vakum uygulamasının son aşamasında soğuma sürecinden sonra kalıp açılır. Döküm tezgâhından vakum ünitesine bir sinyal gönderilir. Vakumlama valfi (O) kapalı konuma geçer. Vakum ünitesi valfe (V) hava üfleyerek tahliye pistonu bölgesini temizler. Valfteki (V) kirlilik seviyesi ve filtredeki kirlilik seviyesi vakum ünitesi tarafından kontrol edilir. Bir sonraki çevrim için hazır konuma gelinmiştir (Şekil 4.9.).



Şekil 4.9. Vakum uygulamasının yedinci aşaması

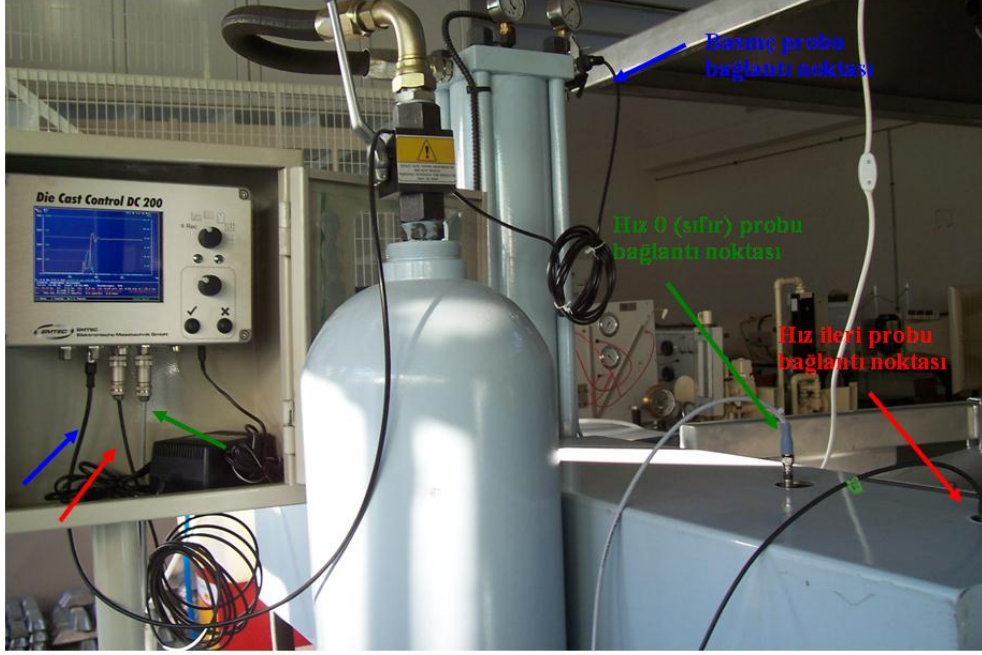
Basınçlı döküm prosesinde kalıp boşluğuna vakum uygulaması pek çok avantajlar sunmaktadır. Bu avantajları özetlersek;

- ✓ Porozitenin giderilmesi
- ✓ Yüksek yapısal yoğunluk
- ✓ Temiz yüzeyler
- ✓ Emniyet parçaları için en iyi teknik ve fiziksel veriler
- ✓ Kaynak edilebilir ve sertleştirilebilir dökümler
- ✓ Hasarsız termal proses imkanı
- ✓ Hava cebi ve tahliye kanallarına ihtiyaç kalmaz
- ✓ Alüminyum, magnezyum, çinko, pirinç ve kurşun üretimine uygundur.
- ✓ Vakum uygulaması ile döküm kalitesi artar.
- ✓ Hatalı parça sayısında azalma
- ✓ Proses kararlılığının artırılması
- ✓ Kalıp ömründe uzama
- ✓ Enjeksiyon basıncında ve hızında azalma

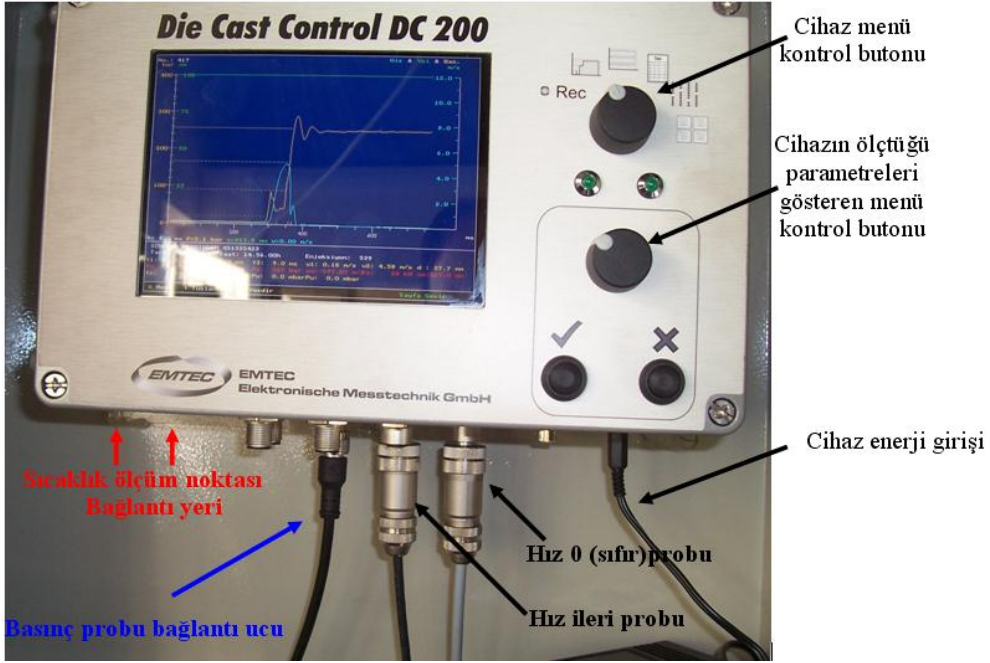
Hatalı parça oranlarındaki azalma işçilik masraflarını düşürür ve üretim maliyetlerine pozitif yönde etki eder.

4.3. DC-200 Dinamik Parametre Ölçüm Cihazı

Vakum tahliye sistemine ilave olarak basınçlı döküm prosesi esnasında gerçekleşen dinamik hareketlerin belirlenebilmesi amacıyla kullanılacak DC 200 dinamik parametre ölçüm cihazı kullanılmıştır. Bu cihaz ile enjeksiyon 1. ve 2. faz hızları, enjeksiyon basıncı, topuk kalınlığı vb. pek çok parametre ölçülebilmektedir. Cihaz ile Saniye'de basınç, hız ve yol bilgileri ile ilgili olarak 600 örnekleme yapılabilmektedir. Enjeksiyon prosesinin çok hızlı olduğu düşünüldüğünde bu örnekleme hızının yeterli olduğu görülmektedir. Şekil 4.10. de ve 4.11. de DC 200 dinamik parametre ölçüm sistemi verilmiştir.



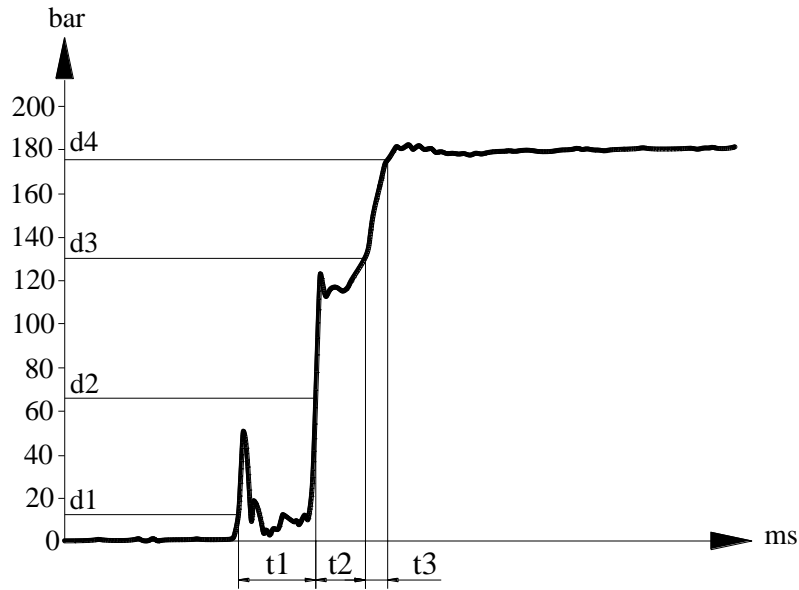
Şekil 4.10. (DC200) Dinamik parametre ölçüm cihazı bağlantı noktaları



Şekil 4.11. Dinamik parametre ölçüm cihazı

DC 200 dinamik parametre ölçüm cihazı ile, kalıp doldurma zamanı, gecikme zamanı, 1. faz, 2. faz hızları, 3. faz, basınç artış zamanı, topuk kalınlığı, maksimum basınç, faz geçiş noktası, enjeksiyon basıncı, yolluk kesitindeki hız, kalıp yüzey alanına uygulanan kuvvet, maksimum strok gibi pek çok proses parametresi tespit edilebilmektedir (Şekil 4.11.).

Karakteristik ölçüm değerlerini elde edebilmek için basınç ve yol kursörlerinin cihaz üzerinde ayarlanması gerekir, basınç ve yol için belirli sınır değerleri girilmelidir. Bu değerlerin ayarlanması ya doğrudan grafik ekranına girilerek veya parametre ekranına nümerik olarak veri girilerek yapılmaktadır. Kaydedilen veriler ve bu veriler kullanılarak çizilmiş eğrileri doğru olarak değerlendirilebilmesi, basınç ve yol kursörlerinin uygun şekilde ayarlanmasına bağlıdır. Şekil 4.12.'de tipik bir basınç eğrisi gösterilmiştir.



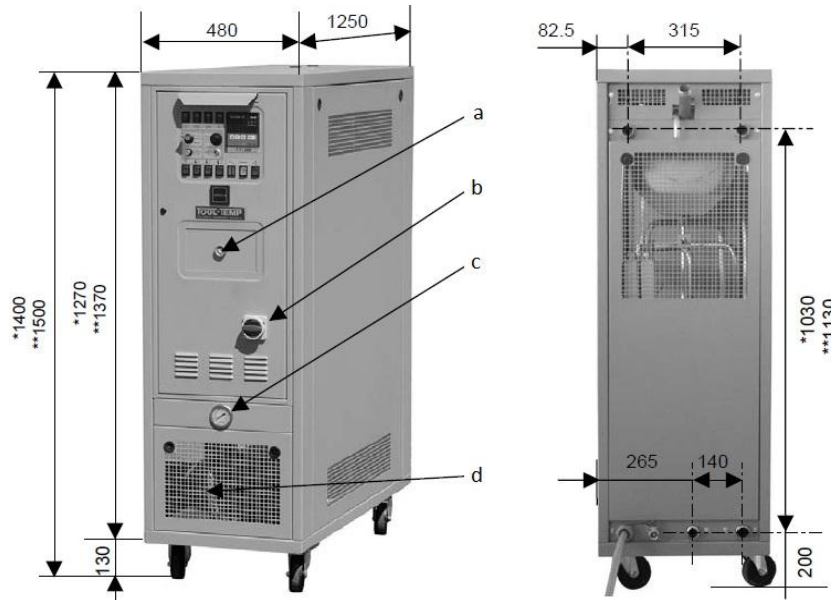
Şekil 4.12. Tipik bir basınç eğrisi

Grafik üzerinde verilen d1, d2, d3 ve d4 değerleri 4 farklı basınç kursörünü göstermektedir. Bu kursörler aşağıdaki kriterlere göre ayarlanmaktadır. 1 numaralı basınç kursörü (d1, en alttaki doğru), bu kursör kalıbın dolmaya başladığı noktayı belirlemeye yarar. Bu kursör için seçilecek basınç değeri, hazne içi yığma basıncının üstünde ve bunu takip eden ilk basınç artışının 1/3'üne eşdeğer olacak şekilde belirlenmektedir. 2 numaralı basınç kursörünün (d2) yardımıyla kalıp doldurma fazının son bulunduğu durumu belirlemektedir. Seçilecek kursör, basınç değeri, ikinci basınç artış eğrisinin ortasına denk gelmelidir. Bununla birlikte ancak seçilen bu nokta aynı zamanda birinci basınç artış eğrisinin maksimum noktasının üstünde olmalıdır. 3 numaralı basınç kursörü (d3), sıkıştırma, multiplikator fazının başladığı noktayı belirlemeye yardımcı olmaktadır. Bu kursör için seçilecek basınç değeri, üçüncü basınç artış

eğrisinin alt kısmına denk gelecek şekilde seçilmelidir. 4 numaralı basınç kursörü (d4), sıkıştırma fazının sonu erdiği durumu belirlemek için kullanılır. Basınç değeri üçüncü basınç artış eğrisinin üst noktasına yakın seçilmelidir. Bununla birlikte, seçilen nokta, hiçbir zaman maksimum noktanın üstünde seçilmemelidir.

4.4. Kalıp Isıtıcı-Soğutucu Regülatör

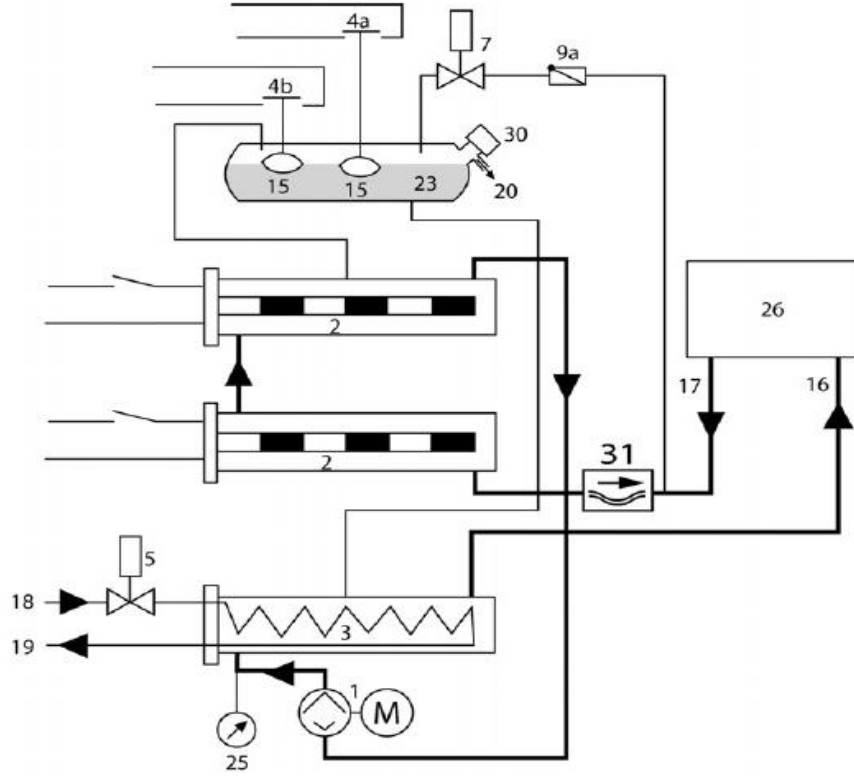
Sıcaklık kontrol ünitesi TT-388 enjeksiyon kalıplarına uygun olarak üretilmiştir ve maksimum 633 Kelvin'e kadar olan kalıcı sıcaklıklar için uygundur. Geniş ölçekli bir genişleme tankında, tek parça soğuk yağ alıcı ve bir kapalı sıcak yağ devresiyle donatılmıştır. Bu yüzden yağ çatlaması (yağın özelliğini kaybetmesi) riski yoktur. Düşük yüklenmiş ısıtıcı elemanları ve yüksek akış oranı nedeniyle uzun ömürlü yağlama beklentisi sağlamaktadır. Cihaz EN292/EN60204 standartlarını karşılamaktadır. Şekil 4.13'de kalıp ısıtma soğutma regülatörünün detaylı resimleri verilmiştir.



Şekil 4.13.Kalıp ısıtıcı soğutucu regülatörü detay resmi

Şekildeki ön görünüşte siren (a), ana siviç (b), manometre (c) pompa basıncı ve pompa dönüş yönü (d) ile belirtilmiştir. Kontrol panelinin gerekli parametrelerin girildiği ve düzenlendiği kısımdır. Bu panel ile istenilen kalıp

sıcaklığı ayarlanabilmektedir. Şekil 4.14’de kalıp ısıtma soğutma regülatörüne yağın doldurulmasından itibaren ısıtılarak kalıba gitmesi, geri dönmesi ve gerektiğinde kalıbın sıcaklığını düşürmek için kullanılan soğutma suyunun ilavesi gösterilmiştir.

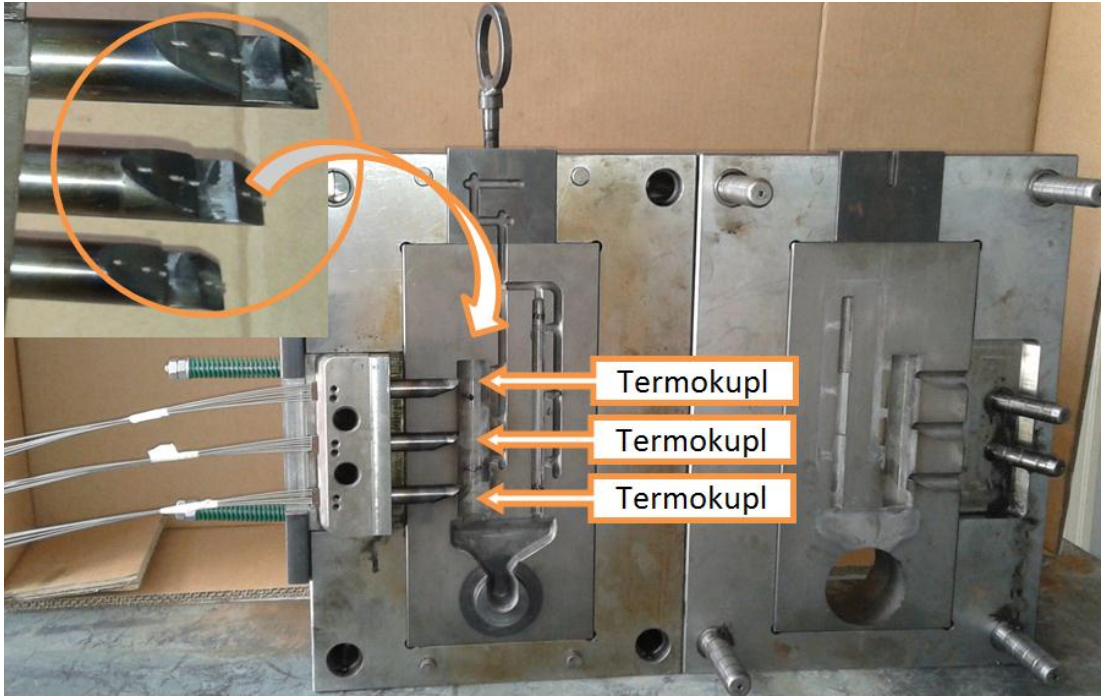


Şekil 4.14. Kalıp ısıtma soğutma regülatörü fonksiyonel diyagramı

Kalıp yağlama sistemi şu şekilde açıklanmıştır: 1) Motor-pompa, 2) Isıtma, 3) Isı değiştirici, 4a)Seviye sivicisi, düşük seviye, 4b)Seviye sivicisi, yüksek seviye, 5) Selonoid valf soğutma, 7) Selonoid valf kalıp boşaltma, 9a)kapaklı valf, 15) Şamandıra, 16) Isıtılmış yağın kalıba gidişi, 17) Yağın kalıptan çıkışı, 18) Soğutma suyu girişi, 19) Soğutma suyu çıkışı, 20) Aşırı akış, 23) Genleşme tankı, 25) Manometre pompa basıncı, 26) Alıcı (kalıp), 30) Yağ doldurma noktası, 31) Yağ akış kontrolü.

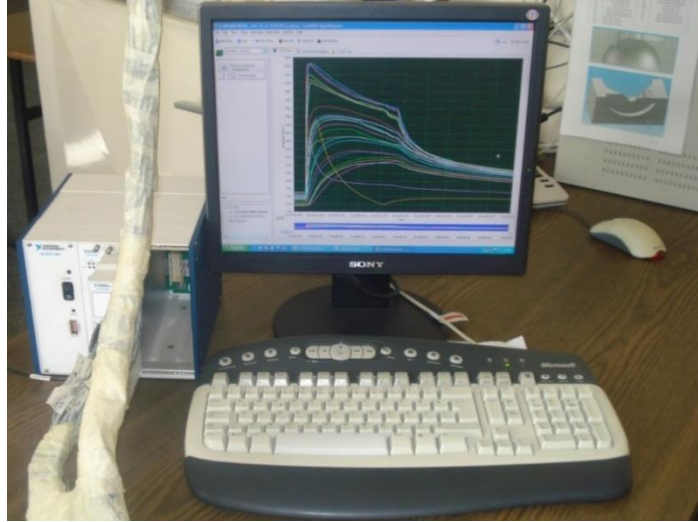
4.5. Sıcaklık Datalarının Oluşturulması

Basınçlı döküm makinesinde, yapılan tez çalışmasında döküm ve kalıp sıcaklıkları termokupl yardımıyla ölçülerek grafik haline getirilmiştir. Sıcaklık datalarının çalışma sırasındaki değerlerinin bilgisayara aktarılması için kalıptan ve dökümden sıcaklık değerlerinin ölçülmesi gerekmektedir. Bunun için aşağıdaki Şekil 4.15’de termokupl bağlantıları gösterilmiştir.



Şekil 4.15. Dökümden ve kalıptan sıcaklık ölçümü alabilmek amacıyla yerleştirilmiş termokuplun konumları

Şekil 4.15’de de görüldüğü gibi sıcaklık verileri termokupl yardımıyla ölçülerek bilgisayar sistemine aktarılıyor. Aşağıdaki Şekil 4.16’da sıcaklık verilerinin bilgisayara aktarılması gösteriliyor.



Şekil 4.16. Sıcaklık verilerini kaydeden veri toplama sistemi

Yapılan tez çalışmasındaki sıcaklık verileri değişik parametreler seçilerek alınmış ve grafik şekline getirilerek araştırma bulgularında verilmiştir.

4.6. Enjeksiyon Ürünü Çekme ve Akma Dayanımı Test cihazı

Mekanik testler TS EN ISO 6892-1 Standardına uygun olarak çekme test cihazında oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Her üretim koşulu için en az üç çekme deneyi numunesi imal edilmiştir. Çekme deneyleri ile döküm sıcaklığı, kalıp sıcaklığı, enjeksiyon basıncı, enjeksiyon hızı ve vakum uygulamasının enjeksiyon ürünü çekme ve akma dayanımı değerleri üzerine etkileri belirlenmeye çalışılmıştır. A360 malzemesinden üretilen silindirik geometriye sahip numunelere çekme deneyi yapılırken kullanılan parametreler Çizelge 4.3. de verilmiştir.

Çizelge 4.3. Çekme Numunesine Uygulanan Parametreler

Gerilme skala değeri	2000	N/mm ²
Yük skala değeri	1000	kN
Ön yük değeri	10	N/mm ²
Ön yük hızı	10	mm/min
Akma hızı	1-3-8-13	mm/min
Deney hızı	0.5-1-5-8-18	mm/min
Deney hızına geçiş limiti	4	% L
Deney sonu gecikmesi	50	% Fmax

Numune çekme makinesinin amacı ve kapsamı; metalik malzemelerde bir veya daha fazla mekanik özellikleri belirlemek için, kopuncaya kadar uygulanan çekme kuvveti ile yapılan deneyi kapsamaktadır. Çekme numunesi test cihazına bağlanmadan ilk ölçü uzunluğu ölçülür (L_0). Numune cihaza bağlanarak sisteme uygun yük değeri, yük hızı, akma hızı, deney hızı (çekme hızı) gibi değerler girilerek deneyler yapılmıştır. Deney yapımında aşağıdaki açıklamalara dikkat edilmiştir.

Ölçü Uzunluğu (L): Ölçü uzunluğu, deney sırasında üzerinde uzama ölçümü yapılan deney parçasının önceden belirlenen silindirik veya prizmatik kısmının uzunluğudur.

İlk Ölçü Uzunluğu (L_0): İlk ölçü uzunluğu, kuvvet uygulanmadan önceki ölçü uzunluğudur.

Son Ölçü Uzunluğu (L_u): Son ölçü uzunluğu, deney parçası koptuktan sonra kopan kısımlar aynı eksen üzerinde birleştirildiğinde ilk ölçü uzunluğu işaretleri arasındaki uzunluktur.

Gövde Uzunluğu (L_c): Gövde uzunluğu, deney parçasının kavrama çenelerine takılan kısımları arasında kalan ve kesiti aynı olan uzunluktur.

Çekmede Uzama: Deney sonunda ilk ölçü uzunluğundaki (L_0) artıştır.

Çekmede Uzama Yüzdesi: Uzamanın ilk ölçü uzunluğunun yüzdesi ile ifadesidir.

En Büyük Yük (F_{max}): Deney parçasının deney sırasında akma noktasını geçtikten sonra dayanabildiği en büyük yüküdür.

Gerilme: Deney yapılırken herhangi bir anda yükün deney parçasının ilk kesit alanına (S_0) oranıdır.

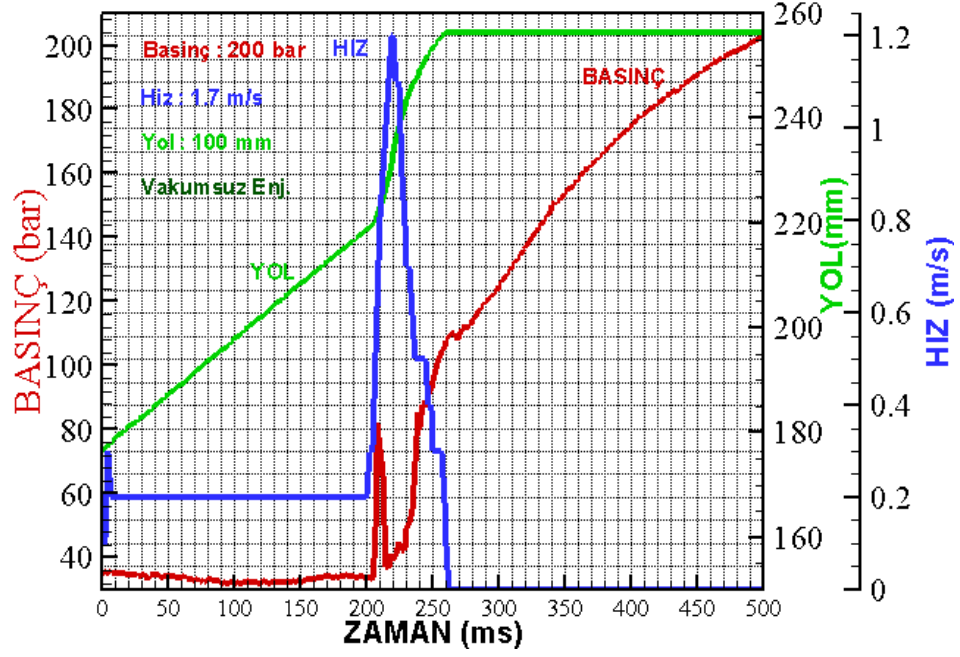
Çekme Dayanımı (R_m) : En büyük yüke (F_{max}) karşı gelen gerilmedir.

Akma Dayanımı: Akma gösteren metalik malzemelerde deney yapılırken kuvvette herhangi bir artış olmadan plastik deformasyon gösteren noktadır.

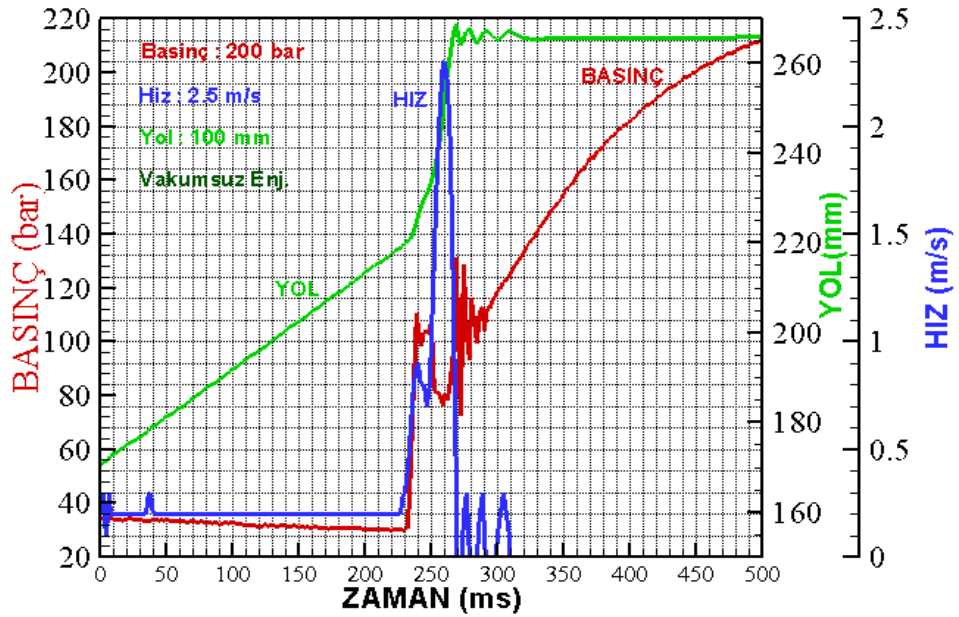
5. ARAŞTIRMA BULGULARI

5.1. DC 200 Ölçüm Cihazından Alınan Sonuçlar

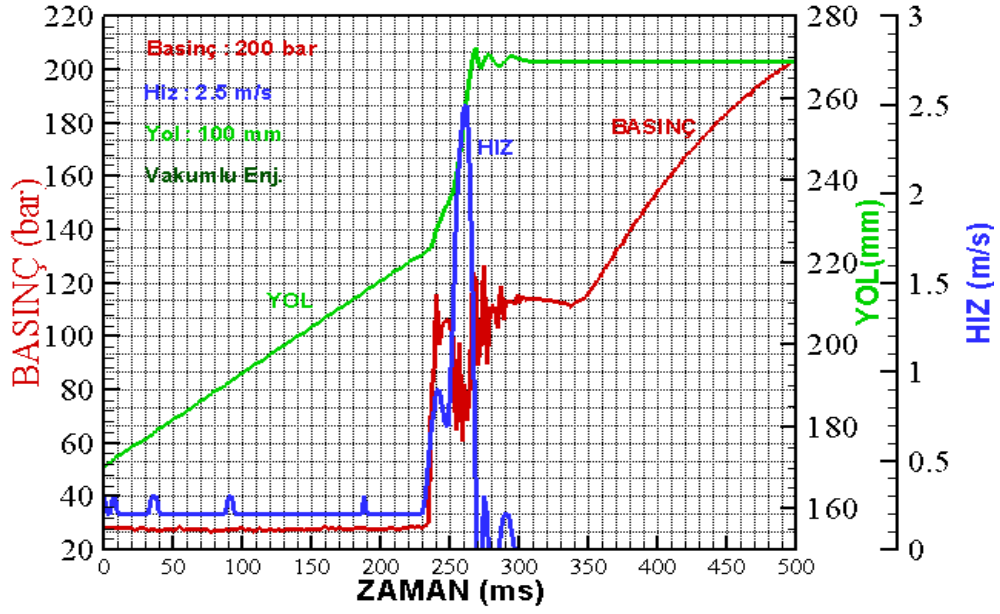
DC 200 ölçüm cihazından alınan 8 farklı grafik çizim programında düzenlenerek değerlerin net görülmesi sağlanmıştır.



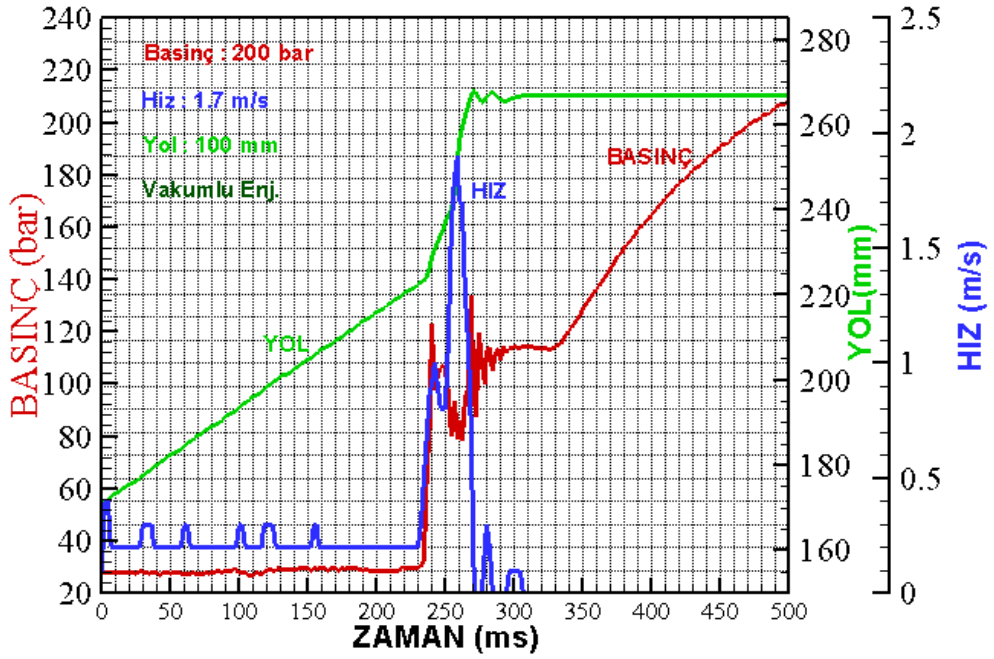
Şekil 5.1. K373-D983-v1(0.2)-v2(1.7)-P200 basınç-hız-yol grafiği



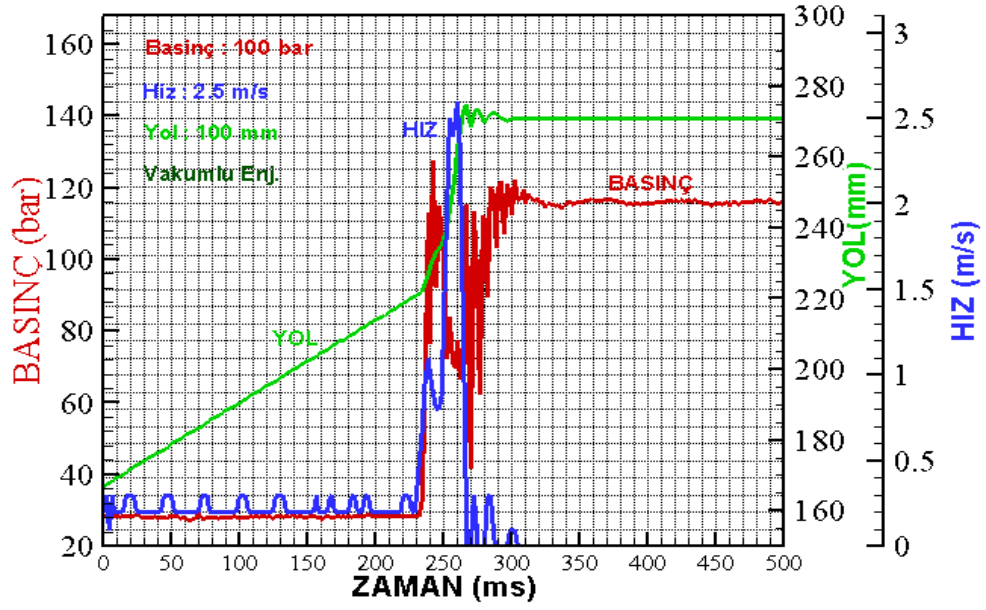
Şekil 5.2. K373-D983-v1(0.2)-v2(2.5)-P200 basınç-hız-yol grafiği



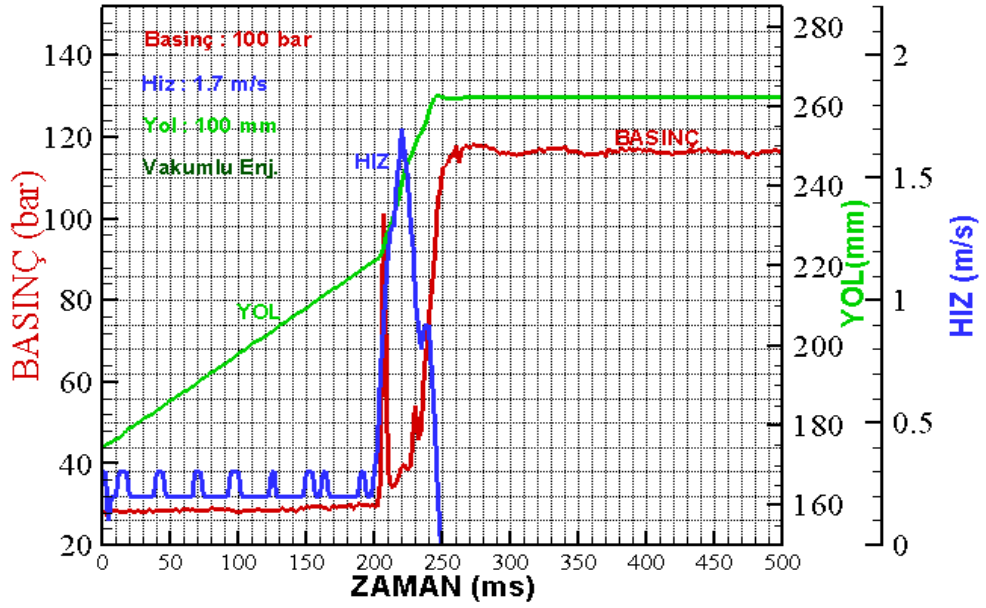
Şekil 5.3. K373-D983-v1(0.2)-v2(2.5)-P201 basınç-hız-yol grafiği



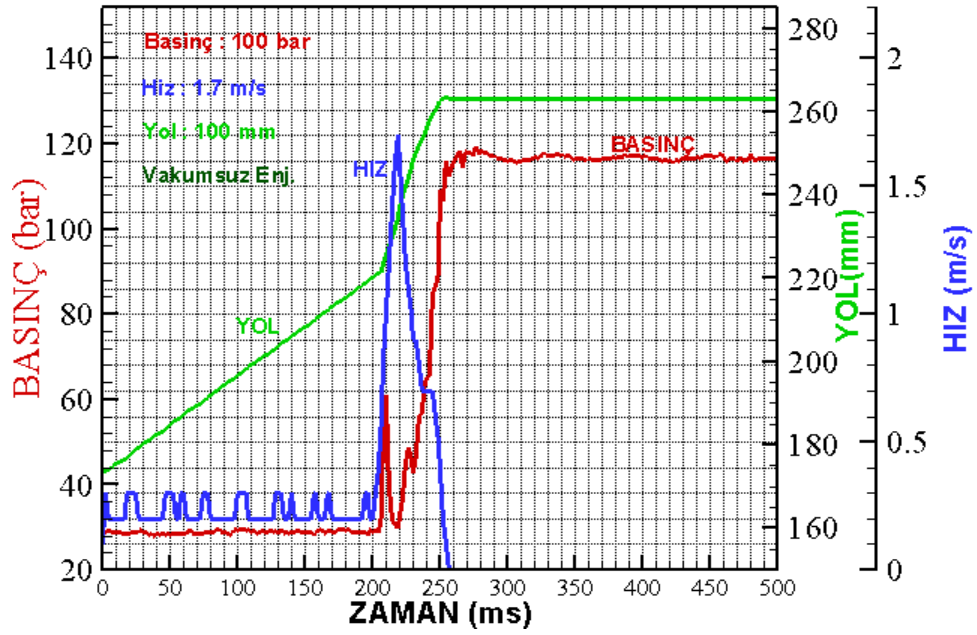
Şekil 5.4. K373-D983-v1(0.2)-v2(1.7)-P201 basınç-hız-yol grafiği



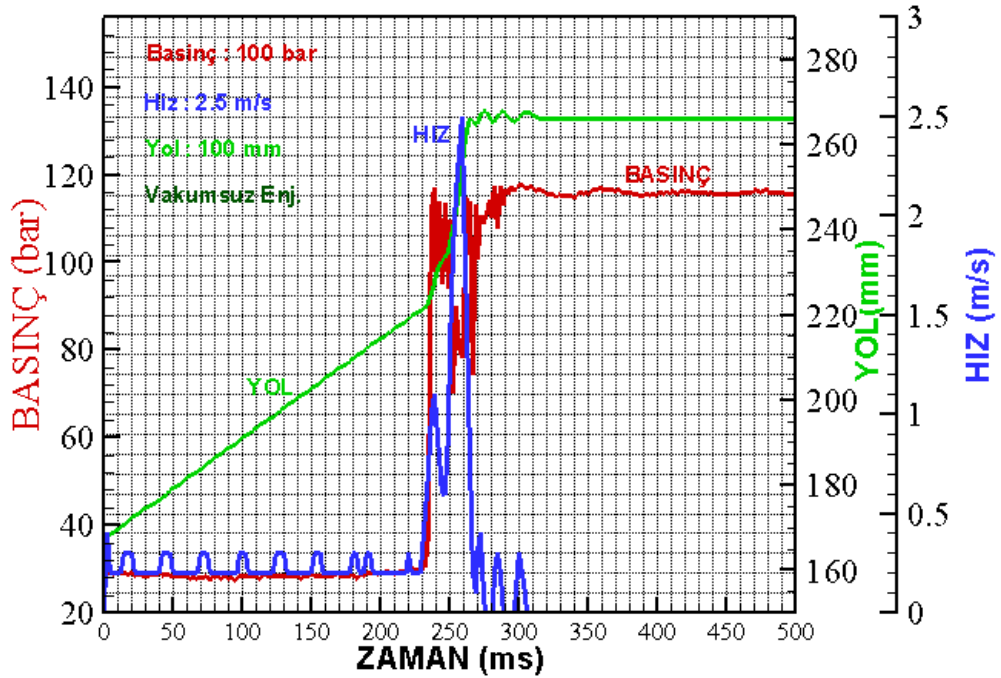
Şekil 5.5. K553-D1053-v1(0.2)-v2(2.5)-P101 basınç-hız-yol grafiği



Şekil 5.6. K553-D1053-v1(0.2)-v2(1.7)-P101 basınç-hız-yol grafiği



Şekil 5.7. K553-D1053-v1(0.2)-v2(1.7)-P100 basınç-hız-yol grafiği



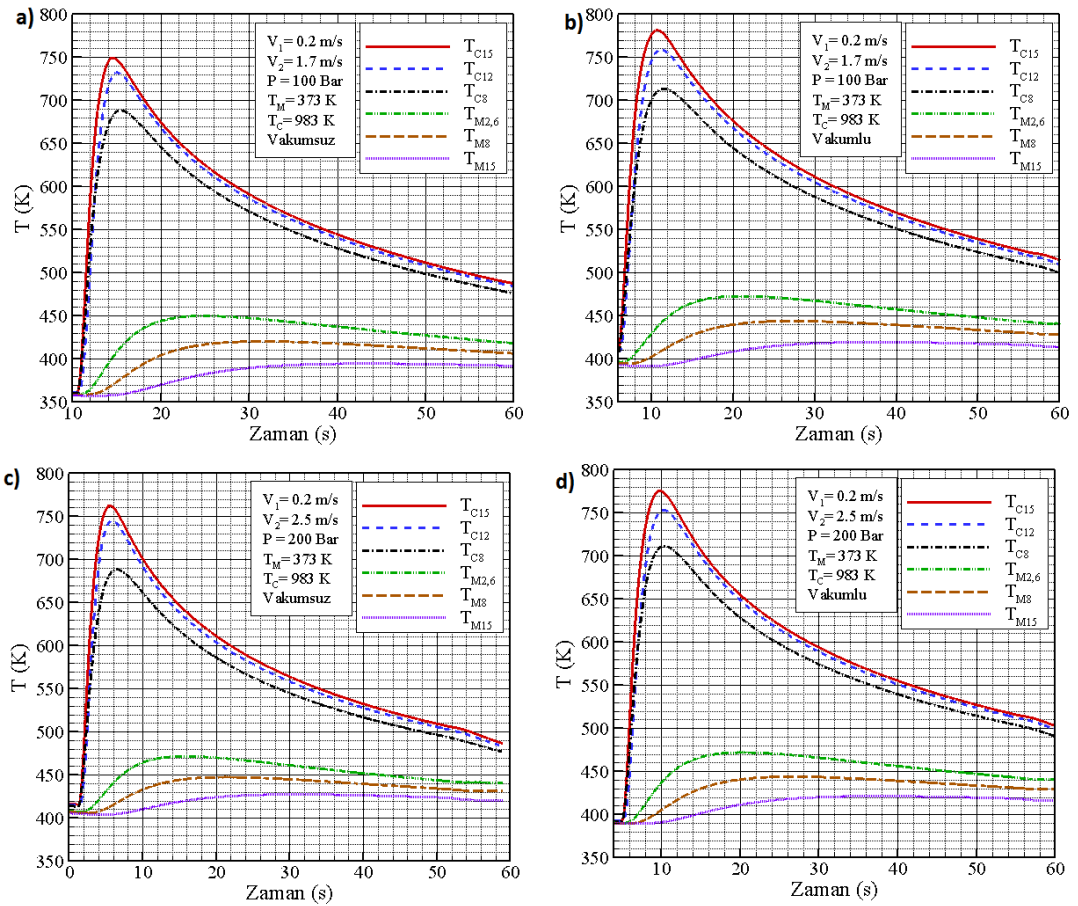
Şekil 5.8. K553-D1053-v1(0.2)-v2(2.5)-P100 basınç-hız-yol grafiği

Grafikler üzerinde zamana bağlı olarak basınç-hız-yol eğrileri gösterilmiştir. Bu grafiklerde verilen parametreler için kalıp sıcaklığı (K), döküm sıcaklığı (D), birinci faz hızı (v1), ikinci faz hızı (v2) ve basın (P) olarak tanımlanmıştır. Grafikler incelendiğinde alınan yolun hemen hemen aynı olduğu görülmektedir buradaki değişim farkı topuk kalınlığından meydana gelmektedir. Topuk

kalınlığı silindirik kovana koyulan ergimiş malzemenin miktarına bağlı olarak değişmektedir. Malzeme kovana fazla koyulmuş ise topuk kalınlığı artar ve alınan yol azalır, bu da fazla malzemenin hurdaya çıkmasına neden olmaktadır.

5.2. Basıncılı Döküm Makinesinden Alınan Sıcaklık Dataları

Yapılan deneyler sırasında basınçlı döküm işlemini gerçekleştirirken hareketli kalıp yarımına bağlı olan termokupullardan alınan sıcaklık değerleri bilgisayara aktarılmış ve grafik haline getirilmiştir. Bu grafiklerden bazıları aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir.



Şekil 5.9. Kalıp 373 K ve Döküm 983 K için sıcaklık grafikleri

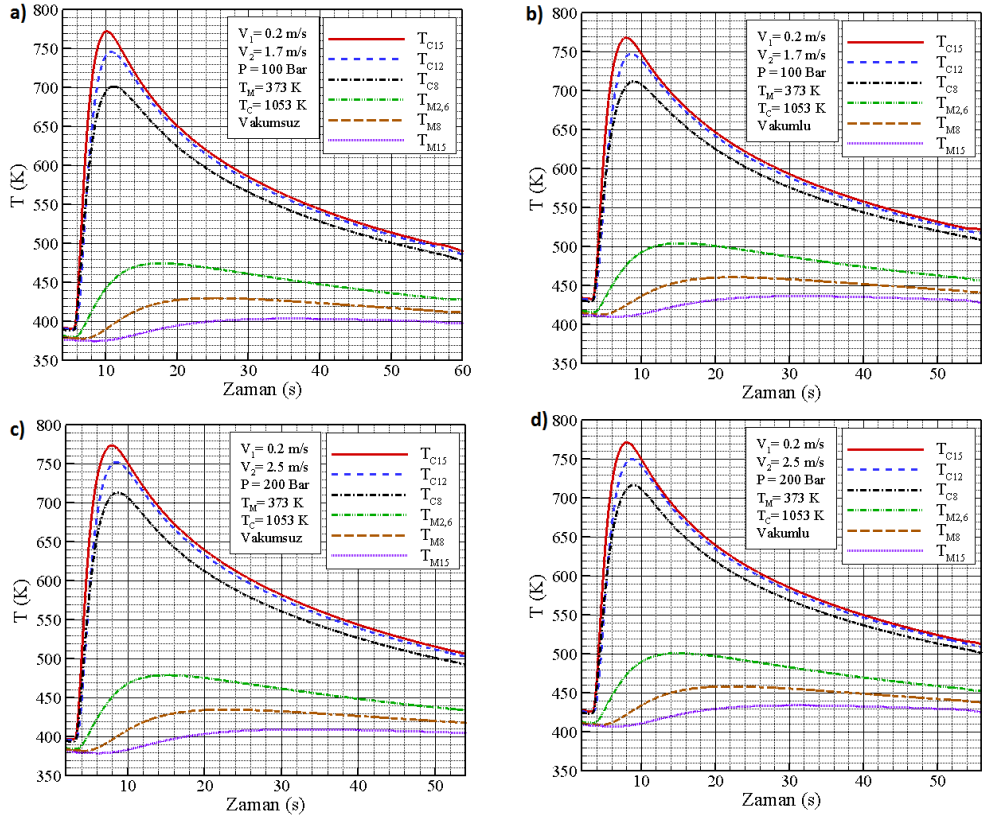
Grafikler incelendiğinde (a) grafiğinin kalıp sıcaklığı 373 K ve döküm sıcaklığı 983 K dir ve bu grafikler arasındaki tek fark (b) grafiğinin vakumlu olmasıdır. Bu grafiklerden de görüldüğü gibi vakumlu durumda döküm sıcaklığı daha yüksektir ve katılma daha geç olacaktır. Vakumlu ortama giren ergimiş metal

hava ile daha az temas ettiği için daha geç soğumaktadır. Bunun sebebi olarak mikro porozite oranının da çok küçükte olsa bir yükselme olacaktır çünkü malzemenin içindeki hava tanecikleri malzemenin içine hapsolmuş durumdadır. Bu grafiklerdeki parametreler sırası ile (a) basınç 100 bar, birinci faz hızı 0.2 m/s, ikinci faz hızı 1.7 m/s ve vakumsuz üretim yapılmıştır (b) için değişen tek parametre vakumlu olmasıdır. (c) için basınç 200 bar, birinci faz hızı 0.2 m/s, ikinci faz hızı 2.5 m/s ve vakumsuz üretim yapılmıştır aynı şartlar geçerli iken (d) de tek değişen vakumlu üretim olmasıdır.

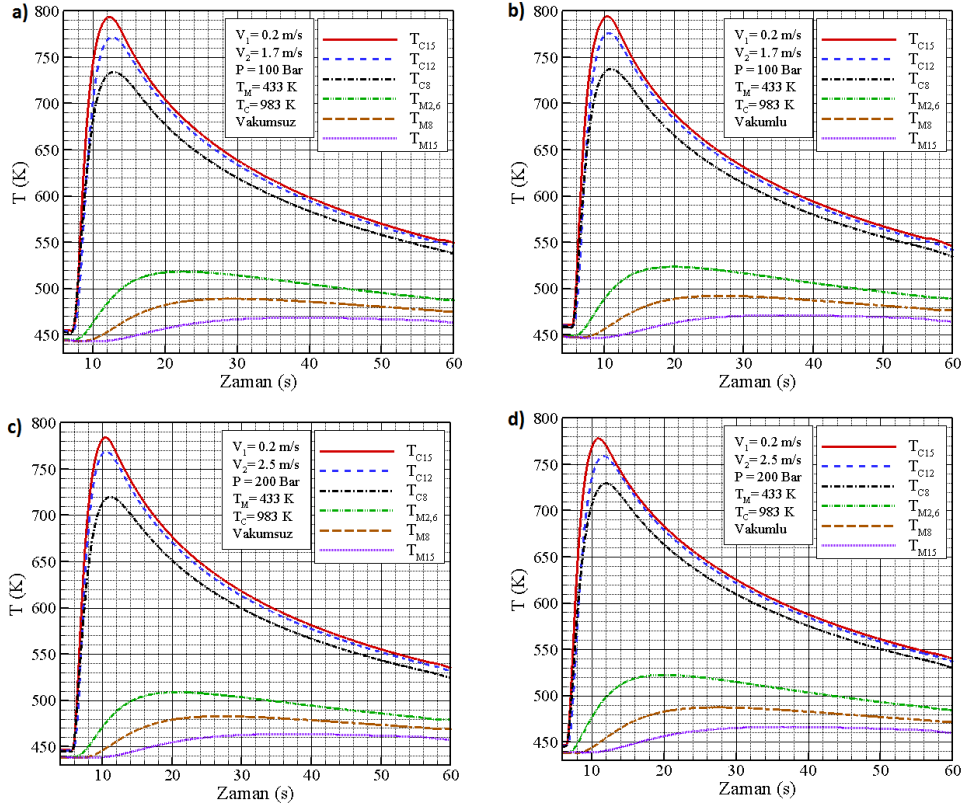
Aynı şekilde (c) ve (d) grafiklerinin de (a) ve (b) grafiklerinden farkları basınç ve ikinci faz hızlarıdır. Grafiklerden de görüldüğü gibi basınç değişiminin ya da ikinci faz hızının değişiminin sıcaklığa pek etkisi olmadığı görülmektedir.

Grafiklerdeki bir başka değişim ise kalıp sıcaklığı 373 K ve döküm sıcaklığı 983 K iken döküm sırasında kalıba bağlı termokuplun ölçtüğü maksimum değerler 750 K ve 781 K aralığında değişmektedir. Bunun nedeni ergimiş metal ergitme fırınından kepçe yardımı ile alınarak silindir hareket haznesine boşaltılana kadar gecen sürede hava ile de temas ederek soğumasıdır.

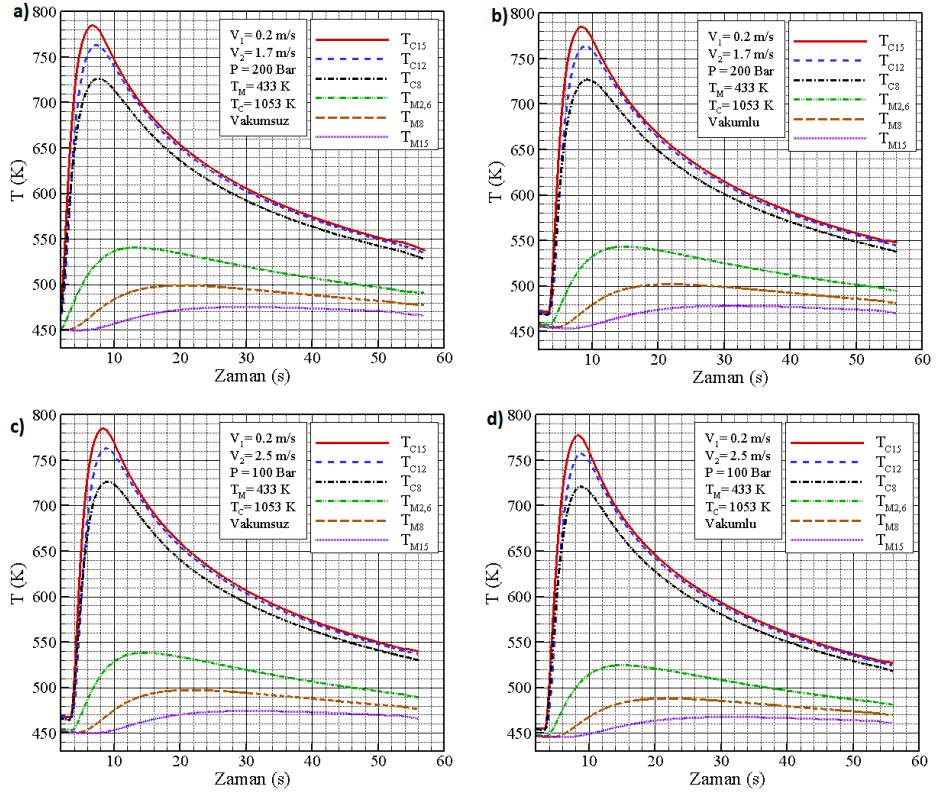
Ergimiş metalin sıcaklığı çok yüksek iken ergimiş metali silindir haznesine koymak için kullanılan kepçenin sıcaklığı çok düşüktür bu sıcaklık farkının yüksekliği ısı alış verişini hızlandırmaktadır. Malzemeyi fırından aldığımız anda sıcaklığı çok hızlı bir şekilde düşmektedir burada tabi ki işin yapıldığı ortamın sıcaklığı da önemlidir. Diğer sıcaklık verilerini de inceleyerek daha net sonuçlara ulaşılmıştır. Kalıp sıcaklığı 4, döküm sıcaklığı 2 ve vakum durumuna göre de 2 farklı değer ile 16 simülasyon grafik elde edilmiştir bunların yanına basınç ve hız değişimleri de eklenerek toplamda 32 sıcaklık grafiği incelenmiştir. Sıcaklık verilerine ve vakum durumuna göre incelenen diğer grafikler aşığıdaki şekillerde verilmiştir.



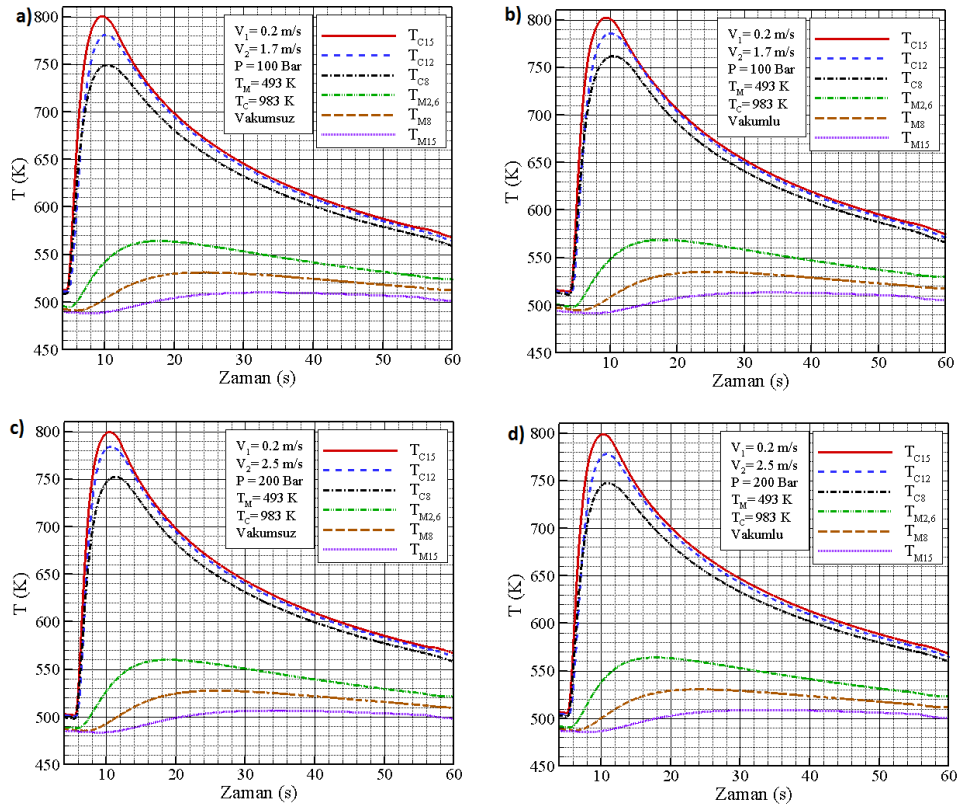
Şekil 5.10. Kalıp 373 K ve Döküm 1053 K için sıcaklık grafikleri



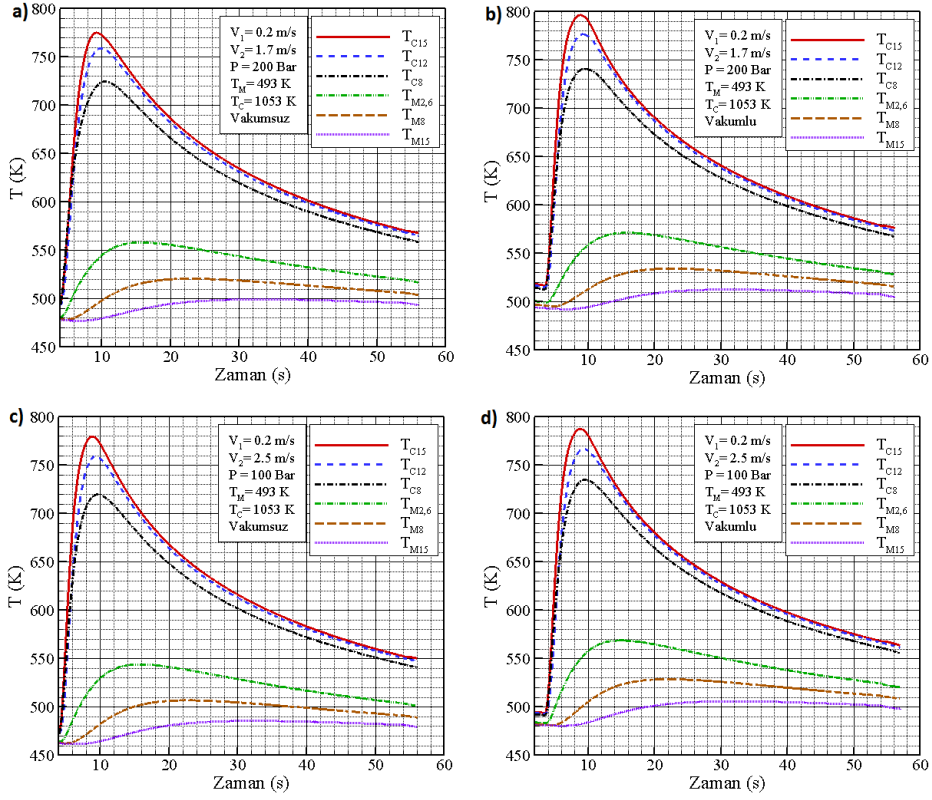
Şekil 5.11. Kalıp 433 K ve Döküm 983 K için sıcaklık grafikleri



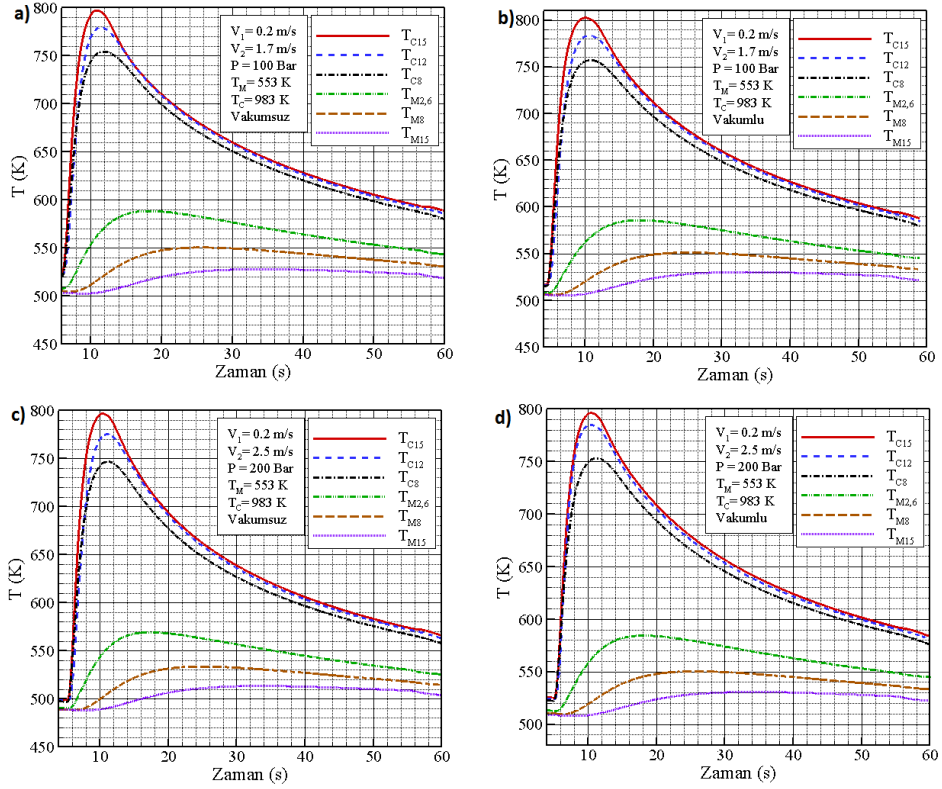
Şekil 5.12. Kalıp 433 K ve Döküm 1053 K için sıcaklık grafikleri



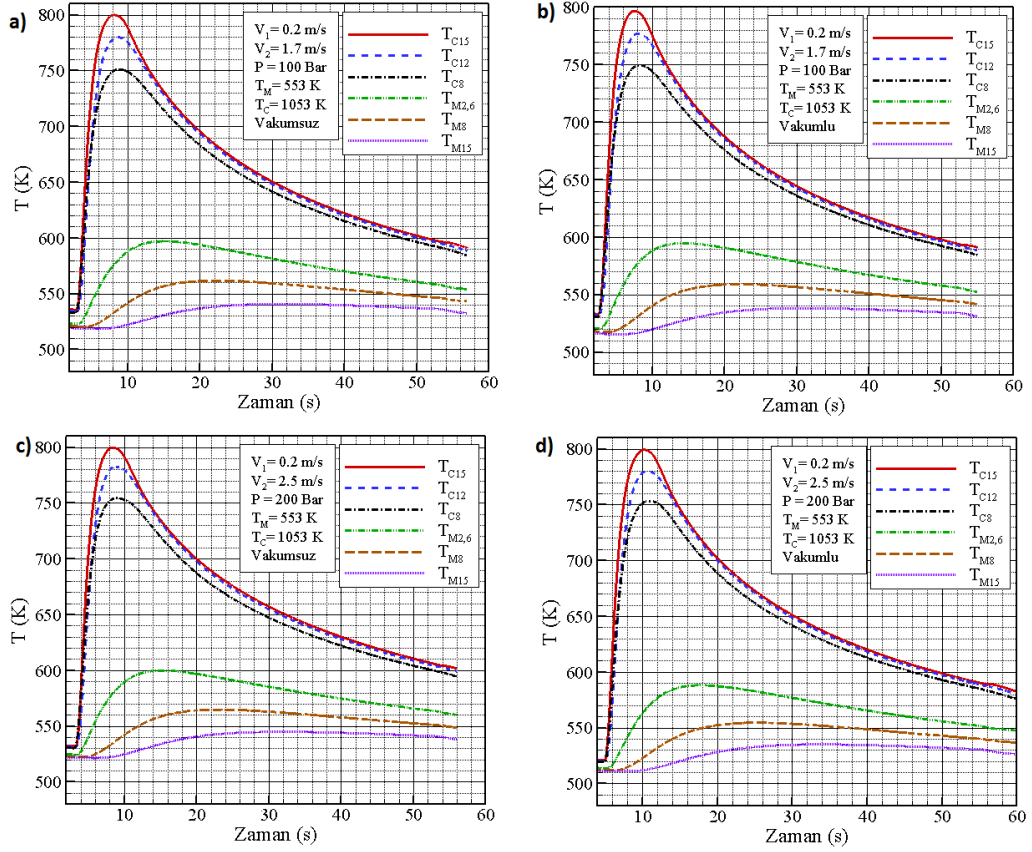
Şekil 5.13. Kalıp 493 K ve Döküm 983 K için sıcaklık grafikleri



Şekil 5.14. Kalıp 493 K ve Döküm 1053 K için sıcaklık grafikleri



Şekil 5.15. Kalıp 553 K ve Döküm 983 K için sıcaklık grafikleri



Şekil 5.16. Kalıp 553 K ve Döküm 1053 K için sıcaklık grafikleri

Grafikler incelendiğinde termokupl takımları ve konumları dikkate alındığında, döküm sıcaklığı 343 K arttığında, döküm ara yüzey sıcaklığı ile kalıp ara yüzey sıcaklığı arasındaki fark 50 K – 80 K arasında bir değişim göstermektedir.

Papai (1994), döküm sıcaklığı olarak 923 K ve 1033 K seçerek deneysel çalışmalar yapmıştır. Döküm yapılmadan önce sıvı haldeki alüminyum ertitme potasından alınarak makine haznesine dökülmektedir. Bu süre içerisinde sıvı sıcaklığı çok hızlı bir şekilde düşmektedir. Papai, bu düşüş değerlerini 1033 K için yaklaşık olarak 403 K - 463 K ve 923 K için 393 K olarak tespit etmiştir. Sıcaklıkların düşmesi ile döküm sıcaklığı neredeyse yakın değerlere gelmektedir. Benzer durum yapılan bu tez çalışması içinde geçerlidir.

5.3. Dolum Simülasyonunda Elde Edilen Sonuçlar

Dolum simülasyonu ergimiş haldeki metalin kalıp boşluğunu nasıl doldurduğunu, dolumun kaçınıcı saniyesinde sıvı metalin nereye ulaştığını, dolum ağzından fişkırarak metal taneciklerinin birbirlerini kesip kesmediği, akışkanın kalıp boşluğunu doldurması sırasında türbülans oluşturup oluşturmadığı gibi bir çok soruya gerçeğe en yakın şekilde değer bulacağımız bir sistem oluşturma işlemidir.

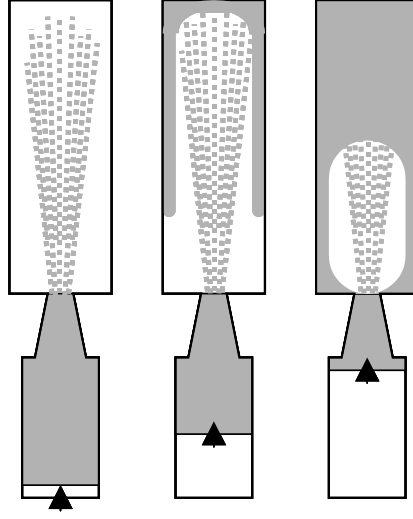
Dolum süresini etkileyen en önemli faktör ikinci faz hızıdır. Çünkü dolumu asıl gerçekleştiren fazdır. Ergimiş haldeki metal birinci faz ile dolum ağzına yavaşça yaklaştırılır ve ikinci faz ile hızla kalıp boşluğunu doldurması sağlanır. Enjeksiyon üçüncü faz hızı ise dolum sağlandıktan sonra parçanın katılaşması için geçen süre içerisinde enjeksiyonun yapmış olduğu basınç hızını ifade etmektedir.

Ayrıca yapılan tez çalışmasında dolum süresinin hem teorik hem de deneysel olarak vakumlu üretim şartlarında vakumsuz üretim şartlarına göre daha da kısa sürelerde dolum yapıldığı gözlemlenmiştir.

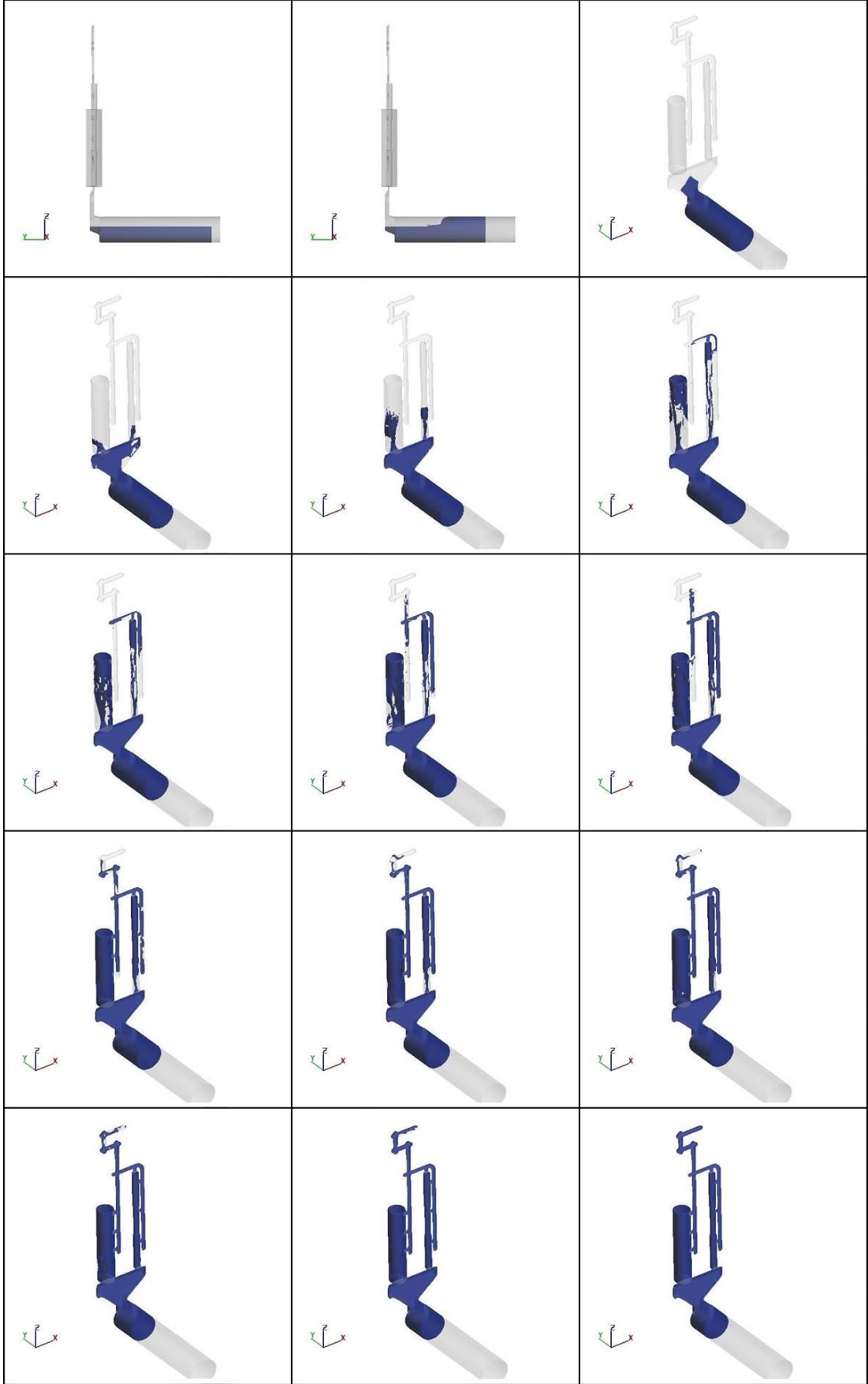
Aşağıdaki şekil 5.18'de dolum işleminin simülasyon işlemleri sırasında adım adım nasıl oluştuğunu gösteren görsel model verilmiştir. Bu model de dolumun piston haznesindeki ilk andan başlayarak birinci faz hızı ile yavaşça ilerleyerek (0.2 m/s) parçanın dolum kısmına kadar geçen zamandaki hali ve ikinci faz ile dolumun hızlı bir şekilde yüksek basınçla kalıbın tamamen dolana kadar nasıl şekil aldığı verilmiştir.

Ayrıca Literatürde yapılan araştırmaya göre Frommer ilk defa madenin kalıp içine akışının grafik olarak resmini 1932'de çeşitli faktörlere istinaden çizip bir teori kurmuştur. Kurduğu bu teoriye göre ergimiş sıvı metal doluma başladığı anda enjeksiyon hızı ve basıncı ile yolluktan girdikten sonra karşıya doğru fişkırarak dolmaya başlar ve en son meme ağzına yani sıvı metalin girdiği yolluk ağzı kısmı en son dolar.

Yapılan tez çalışmasında da literatüre benzer sonuçlar elde edildiği Şekil 5.18’ de görülmektedir. Frommerin sıvı metalin kalıp içerisindeki akışının grafik olarak nasıl dolduğunu gösterimi Şekil 5.17’ de gösterilmiştir.

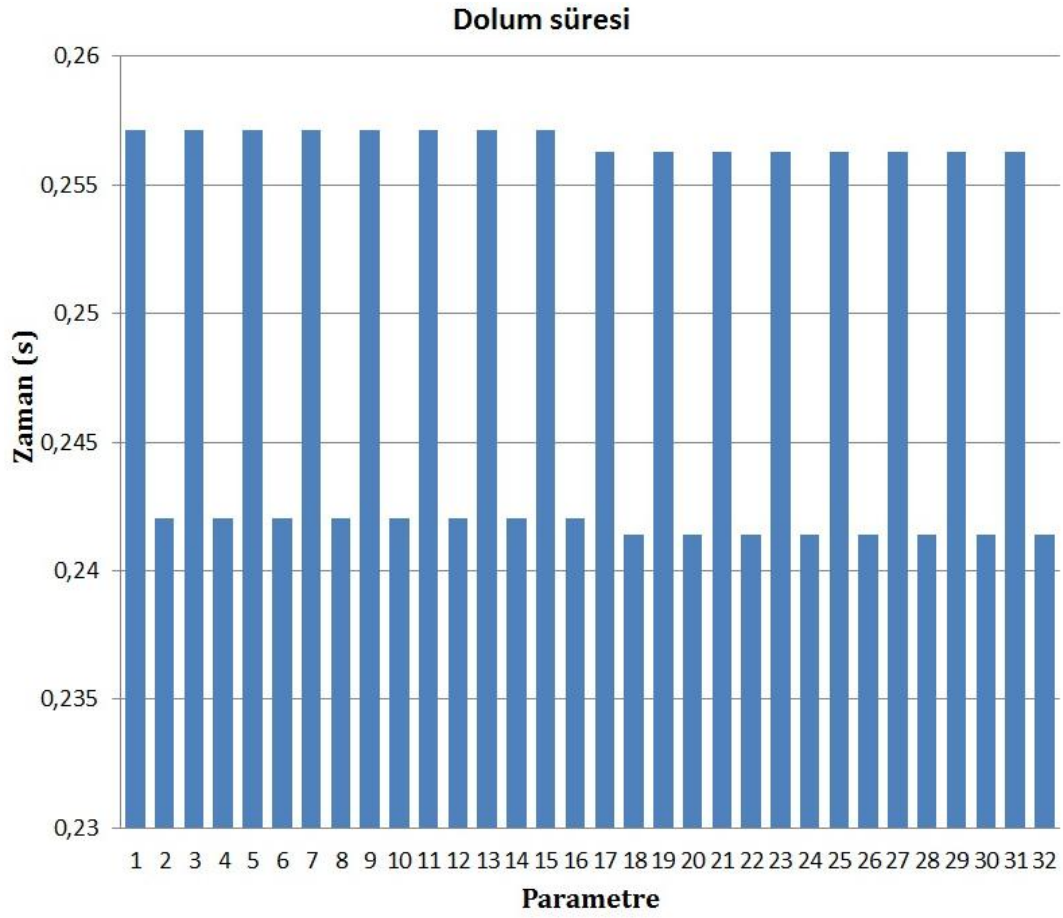


Şekil 5.17. Frommer teorisine göre sıvı metalin kalıp içerisindeki akışı



Şekil 5.18. Dolum simülasyonu

Dolum süresinin verilen parametreler doğrusunda incelenerek grafik haline getirilmesi aşağıdaki şekil 5.19'de gösterilmiştir.



Parametrelerin Kodları

Vakumsuz

- (1) P100-V1_0,2-V2_1,7-M373-C983
- (2) P100-V1_0,2-V2_2,5-M373-C983
- (3) P100-V1_0,2-V2_1,7-M433-C983
- (4) P100-V1_0,2-V2_2,5-M433-C983
- (5) P100-V1_0,2-V2_1,7-M493-C983
- (6) P100-V1_0,2-V2_2,5-M493-C983
- (7) P100-V1_0,2-V2_1,7-M553-C983
- (8) P100-V1_0,2-V2_2,5-M553-C983
- (9) P100-V1_0,2-V2_1,7-M373-C1053
- (10) P100-V1_0,2-V2_2,5-M373-C1053
- (11) P100-V1_0,2-V2_1,7-M433-C1053
- (12) P100-V1_0,2-V2_2,5-M433-C1053
- (13) P100-V1_0,2-V2_1,7-M493-C1053
- (14) P100-V1_0,2-V2_2,5-M493-C1053
- (15) P100-V1_0,2-V2_1,7-M553-C1053
- (16) P100-V1_0,2-V2_2,5-M553-C1053

Vakumlu

- (17) P100-V1_0,2-V2_1,7-M373-C983
- (18) P100-V1_0,2-V2_2,5-M373-C983
- (19) P100-V1_0,2-V2_1,7-M433-C983
- (20) P100-V1_0,2-V2_2,5-M433-C983
- (21) P100-V1_0,2-V2_1,7-M493-C983
- (22) P100-V1_0,2-V2_2,5-M493-C983
- (23) P100-V1_0,2-V2_1,7-M553-C983
- (24) P100-V1_0,2-V2_2,5-M553-C983
- (25) P100-V1_0,2-V2_1,7-M373-C1053
- (26) P100-V1_0,2-V2_2,5-M373-C1053
- (27) P100-V1_0,2-V2_1,7-M433-C1053
- (28) P100-V1_0,2-V2_2,5-M433-C1053
- (29) P100-V1_0,2-V2_1,7-M493-C1053
- (30) P100-V1_0,2-V2_2,5-M493-C1053
- (31) P100-V1_0,2-V2_1,7-M553-C1053
- (32) P100-V1_0,2-V2_2,5-M553-C1053

Şekil 5.19. Flow3D programından alınan dolum süresi simülasyon sonuçları

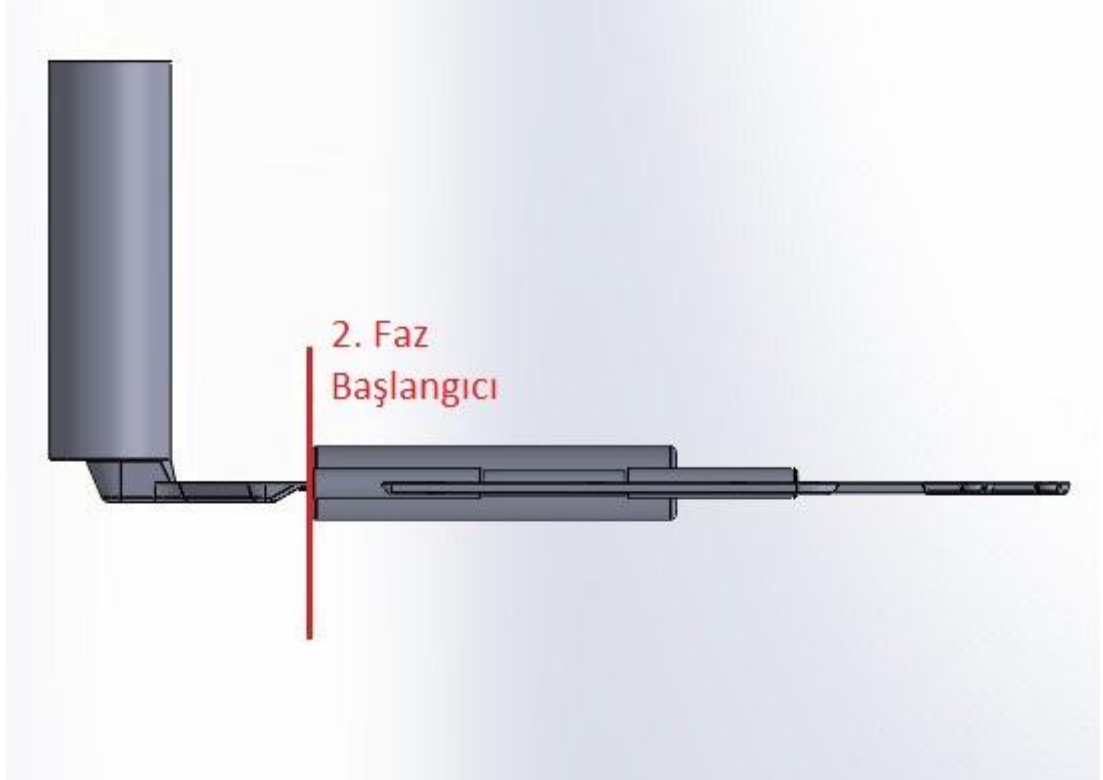
Sonuçlar incelendiğinde dolum sürelerine ikinci faz hızının ve vakumlu üretim durumunun etki ettiği görülmektedir. Diğer döküm parametreleri değiştirilmesine rağmen dolum süresinde herhangi bir değişiklik meydana gelmemiştir. İkinci faz hızı 1.7 m/s'den 2.5 m/s'ye yükseltildiğinde dolum süresi yaklaşık olarak 0.015 s kısalmıştır fakat aynı koşullarda ve aynı parametre değerlerinde yapılan üretim vakumlu üretim ise dolum süresi vakumsuz üretime göre daha hızlı gerçekleşmektedir. Vakumsuz üretimde olduğu gibi vakumlu üretimde de ikinci faz hızı 1.7 m/s'den 2.5 m/s'ye yükseltildiğinde dolum süresinin yaklaşık olarak 0.014 s kısaldığı gözlemlenmiştir.

5.4. Dolum Sırasında Oluşan En Yüksek Hızlar

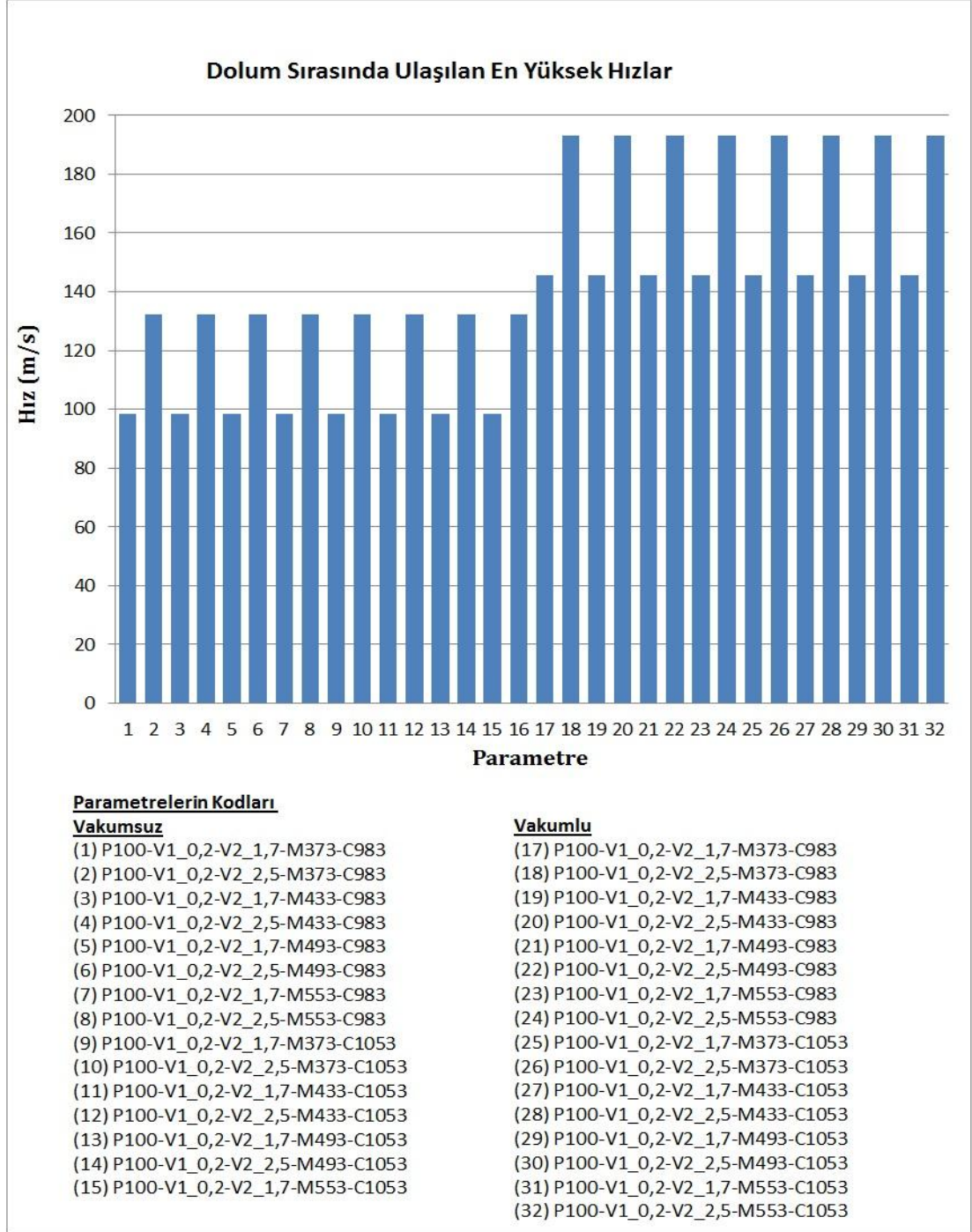
Şekil 5.21'de Flow3D programından alınan dolum sırasındaki en yüksek akışkan hızları verilmiştir. Dolum sırasındaki en yüksek akışkan hızları dolum ağzında gerçekleşmektedir. Akışkanı su olarak farz eder ve bir dere yatağında aktığını düşünürsek su zamanla dere yatağını aşındırır ve aktığı yolu genişletmiş olur. Aynı şekilde bizim sıvı ergimiş metalimizde sürekli kalıba akarken belli bir süre sonra kalıbı aşındırmaya başlayacaktır. Bu aşındırma elbette ki ilk olarak akışkanın maksimum hıza ulaştığı bölgede gerçekleşecek, bu simülasyonu yapılan parça için incelendiğinde dolum ağzında yani ikinci faz hızının hemen başladığı nokta olarak görülmüştür. Şekil 5.21'de bakıldığında dolum ağzında oluşan maksimum hız değerlerinin ikinci faz hızı ve ikinci faz başlangıç noktasına bağlı olarak değiştiği gözlemlenmektedir. Şekil 5.20'de bakıldığında dolum ağzı yani ikinci faz başlangıç noktası görülmektedir. İkinci faz hızının yükselmesi ile birlikte bu bölgedeki akışkan hızı da yükselmektedir. Grafik incelendiğinde ikinci faz hızının 1.7 m/s değerinde dolum hızı 90-95 m/s hızlara ulaşırken ikinci faz hızı 2.5 m/s değerindeyken dolum hızı değeri 130-140 m/s değerlerine ulaşmaktadır.

Aynı şartlar altındayken yani basınç 100 bar kalıp sıcaklığı 373 K ve döküm sıcaklığı 983 K değerlerinde iken vakum uygulaması yapıldığında hız değerlerinin, ikinci faz hızı 1.7 m/s iken dolum hızının 140-150 m/s arasında ve ikinci faz hızı 2.5 değerinde iken dolum hızının 190-195 m/s hızlarına ulaştığı görülmüştür.

Enjeksiyon faz hızlarının yanı sıra 2.fazın başlangıç noktasının da simülasyon programına tanıtılması gerekmektedir. 2.fazın başlangıç noktası için makine 2.fazı sıvı metal dolum ağzına ulaştığında başlatmaktadır (dolum ağzı).



Şekil 5.20. Seçilen 2. faz başlangıç noktası



Şekil 5.21. Flow3D programından alınan, dolum sırasında oluşan en yüksek akışkan hızı değerleri

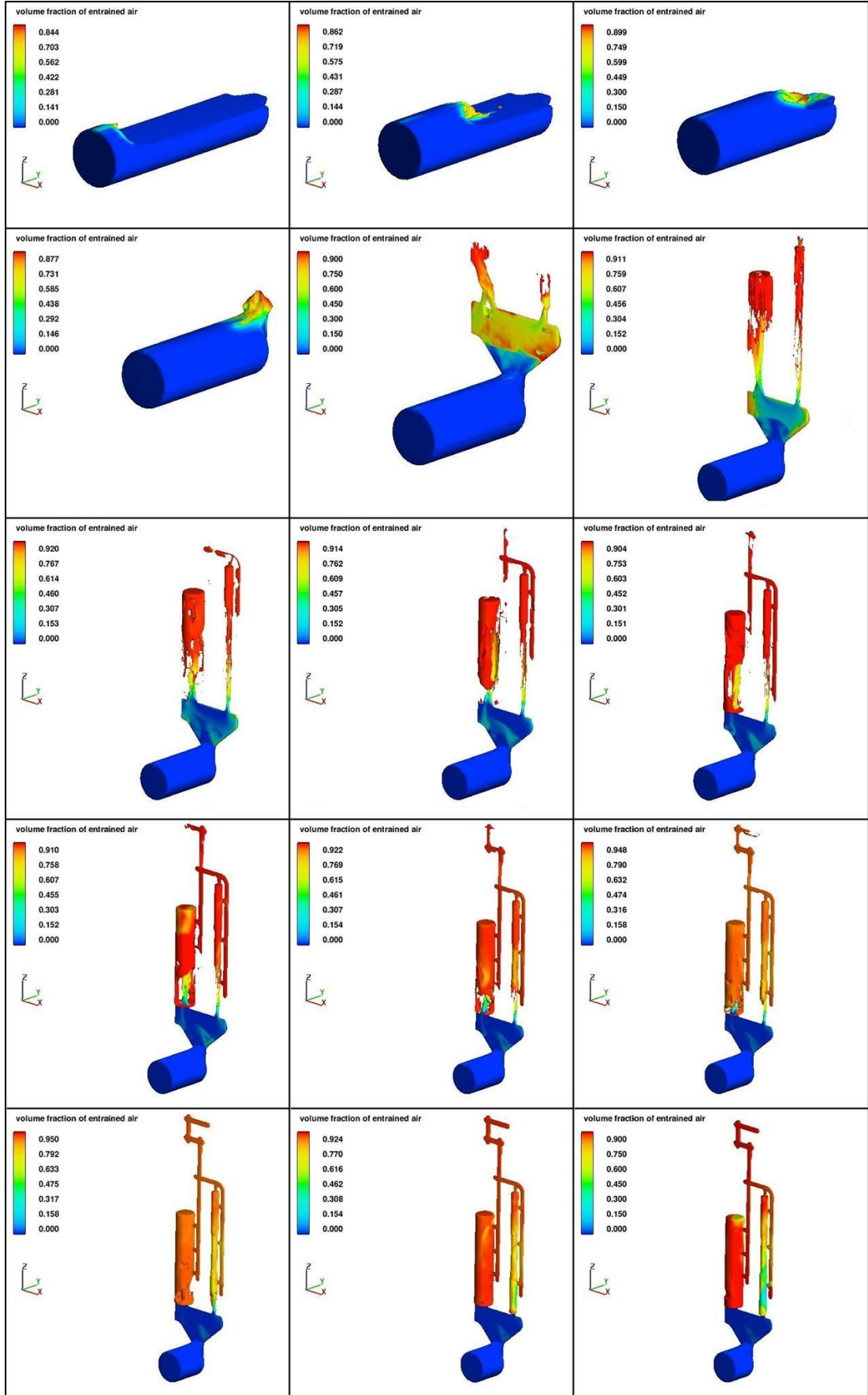
5.5. Dolum Sırasında Oluşan Son Hava Simülasyonu

Son hava simülasyonu dolum sırasında kalıp boşluğunda bulunan havanın, kalıbın sıvı metal tarafından doldurulması sonucu nerede sıkışacağını göstermektedir. Son hava sonuçlarına etki eden faktörler yolluk tasarımı, hava

cebi tasarımı ve vakum uygulamasıdır. Yapılan çalışmada sabit bir tasarım kullanılmış olup vakum uygulaması da yapılmıştır. Yapılan simülasyon sonuçlarında son hava simülasyonu sonuçları birbirlerine çok yakın değerler olduğu gözlemlenmiştir.

Flow3D programından elde edilen son hava simülasyonu sonuçları incelendiğinde, sonuçlara sadece ikinci fazın başlangıç noktasının ve ikinci fazın hızının etki ettiği gözlemlenmiştir. Şekil 5.22.'de Flow3D programından alınan hava sıkışması sonuçları verilmiştir.

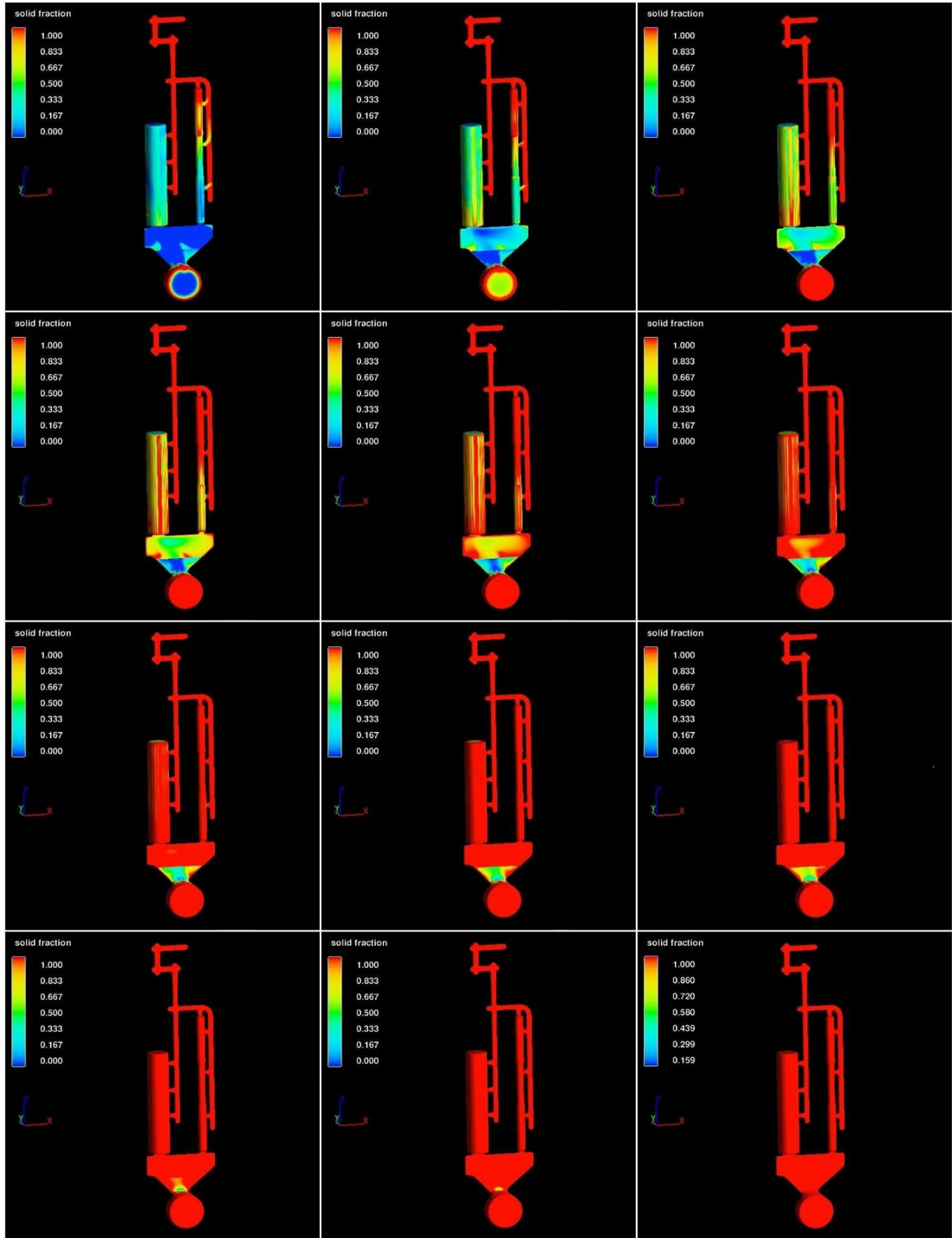
Sonuçlarda ikinci faz başlangıcının topukta seçildiği durumları, dolum ağzında seçildiği durumları ve dolumun tüm sürecinde ki belli noktaları göstermektedir. Şekil incelenirken skala 0 ile 1 arasında yüzdesel olarak bir değer göstermektedir. Bu gösterdiği değer son havanın en az ile en çok sıkışacağı yerleri ifade etmektedir. Renk olarak ise kırmızı renk en çok hava sıkışmasının beklendiği kısımları ifade etmektedir. Simülasyon çalışmalarında yapılan gözlemler vakumlu üretim ortamında ve yüksek faz hızlarında daha az, vakumlu üretim ortamında düşük faz hızında ise daha iyi sonuçlar görülmüştür. Bunun nedeni yapılan çalışmada sıvı ergimiş metal vakumlu yada vakumsuz üretim koşulunda ikinci faz hızı yüksek iken sıvıyı kalıba daha hızlı doldurarak yol boyunca havanın emilmesinin gecikmesine neden olmaktadır. Ayrıca vakumlu üretimin vakumsuz üretime göre daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.



Şekil 5.22. Flow3D programından alınan hava sıkışması sonuçları

5.6. Katılma Simülasyonundan Elde Edilen sonuçlar

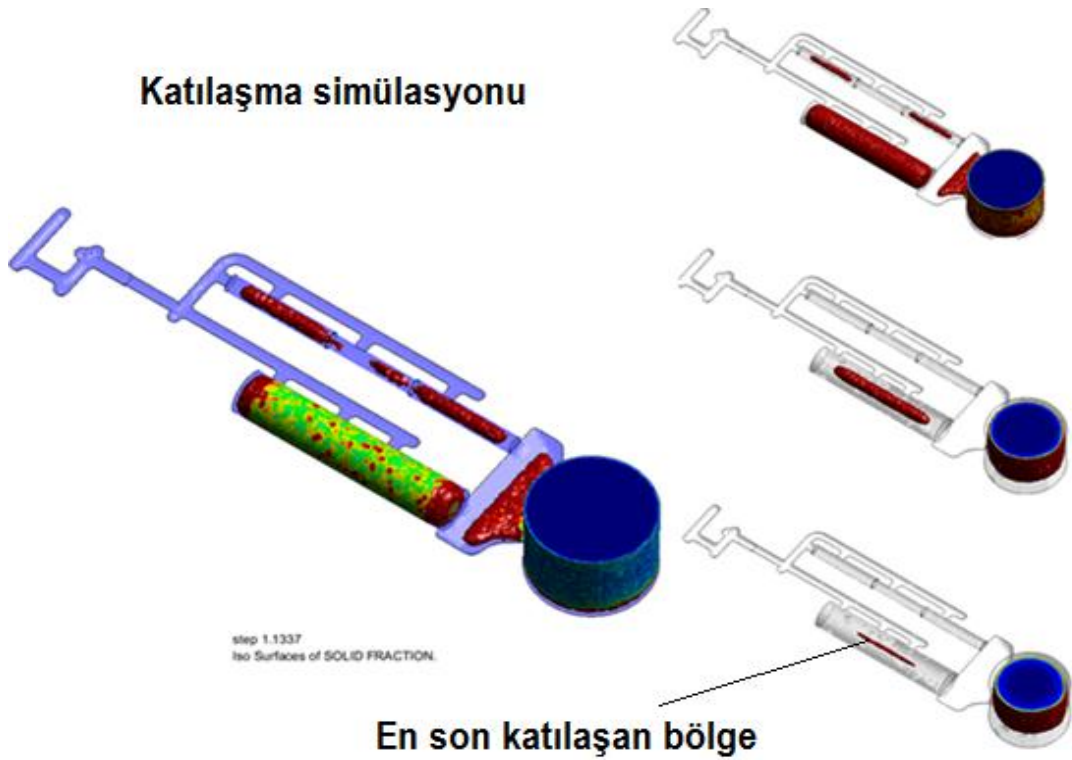
Katılma simülasyonu, parçanın ilk hangi kısımlarının katıldığı, hangi kısımlarının ne kadar sürede katıldığı ve bütün parçanın katılma süresi gibi sonuçlar vermektedir. Şekil 5.23’de katılma simülasyonu verilmiştir.



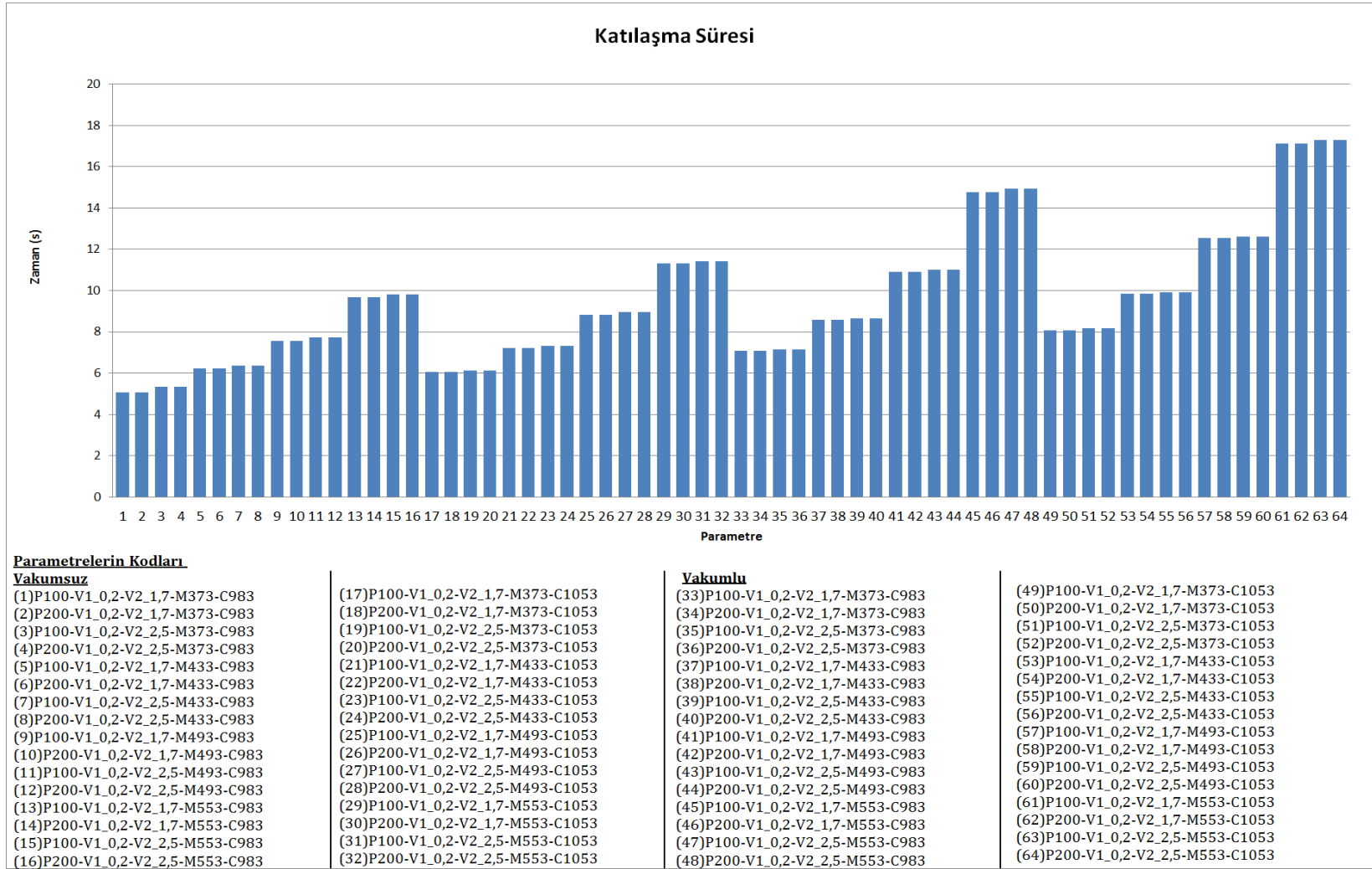
Şekil 5.23. Katılma simülasyonu

Şekil 5.23 incelendiğinde ise parçanın katılaşmaya ilk olarak ince cidarlı üst kısımlarından başladığı görülmektedir. Çünkü kalıba ilk ulaşan ergimiş metal arkadan gelen sıcak metal tarafından iç kısma süpürülmektedir. Kalıba ulaşan ilk ergimiş metal birikintisi sıcaklığı düşük olan kalıba daha çok maruz kalacağından daha hızlı soğuyacaktır. Sonrasında hava cepleri hızla katılaşmış ve parçanın diğer ince cidarlı kısımları katılaşmıştır. Son katılan kısımlar ise dolum ağzına en yakın kısımlar olmuştur.

Dolum sırasında kalıp sıcaklığı düşük olduğunda ergimiş metal kalıba çarptığı anda sıcaklık farkları nedeniyle sıcaklığını hızlı bir şekilde kalıba aktarmakta ve ergimiş metal aniden soğumaya geçer bunun sonucu olarak ergimiş metal daha kısa sürelerde katılaşmaktadır. Fakat kalıp sıcaklığı yükseldiğinde kalıp ile ergimiş metalin arasında ki sıcaklık farkı azaldığından dolayı katılma süresinin uzamasına sebep olmaktadır.



Şekil 5.24. Katılma son bölge



Şekil 5.25. Flow3D simülasyon programından alınan katılma süreleri

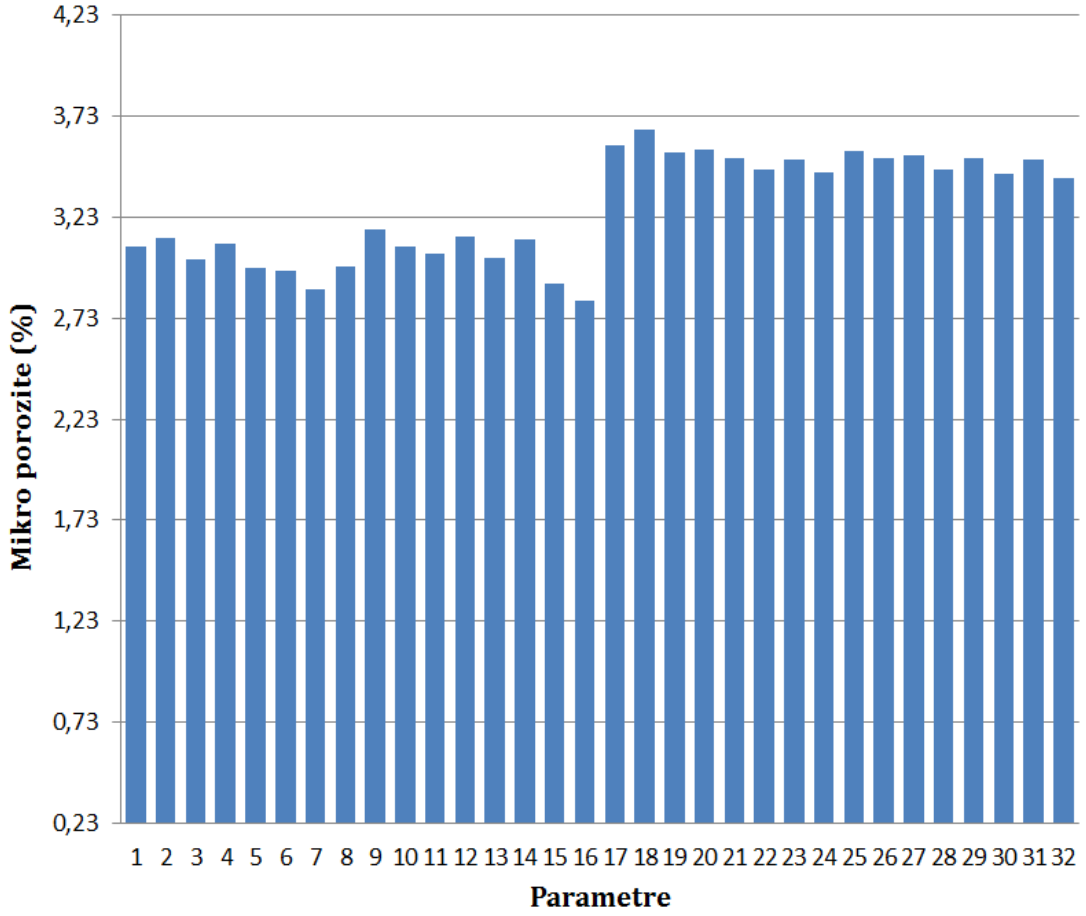
Şekil 5.25’de ki sonuçlar incelendiğinde kalıp sıcaklığının 373 K olduğu durumlarda döküm sıcaklığının artırılması ile katılma süresi 5 saniye civarında iken 9 saniye civarına çıkararak sıcaklık artışına tepki süresi 4 saniye civarındadır. Kalıp sıcaklığının 433 K olduğu durumda ise sıcaklık artışı ile katılma süresindeki artış ortalama 5 saniye olmaktadır. Döküm sıcaklıkları sabit tutulup kalıp sıcaklığındaki artışlar incelendiğinde ise farkların daha büyük olduğu görülmektedir. Döküm sıcaklığının 983 K olduğu durumlarda kalıp sıcaklığı artırıldığında katılma süresi 5 saniye civarından 15 saniye civarına yükselmektedir. Bu durum döküm sıcaklığının 1053 K olduğu durumda da görülmektedir.

5.7. Katılma Sırasında Oluşan Mikro Porozite Oranı

Mikro porozite parçanın katılması sırasında ergimiş metalden çıkan gazların oluşturduğu boşluklardır. Flow3D programında alınan mikro porozite sonuçlar Şekil 5.26’da verilmiştir. Bar grafiği incelendiğinde mikro porozite oluşumu tamamen termal parametrelere bağlıdır. Mikro porozite oluşumunun en az olduğu durumlar ikinci fazın 1.7 m/s, kalıp sıcaklığının 553 K ve döküm sıcaklığının 1053 K olduğu durumlardır. Flow3D programına göre kalıp sıcaklığının artırılması porozite oluşumunu olumlu yönde etkilemektedir. Şekil 5.5.2’de Flow3D programından alınan mikro porozite sonucuna ait model grafiklerin X ekseninde kesit alınmış görüntüleri bulunmaktadır. Bu görüntü yukarıda belirtilen en iyi parametrelere ait olan sonucu göstermektedir.

Sonuç mikro porozite oluşumunun en çok olacağı bölgelerin belirlenmesi amacıyla incelendiğinde parçanın iç kısımlarında bulunan ince cidarlı bölgelerde yoğunlaştığı görülmektedir.

Mikro Porozite Oranı



Parametrelerin Kodları

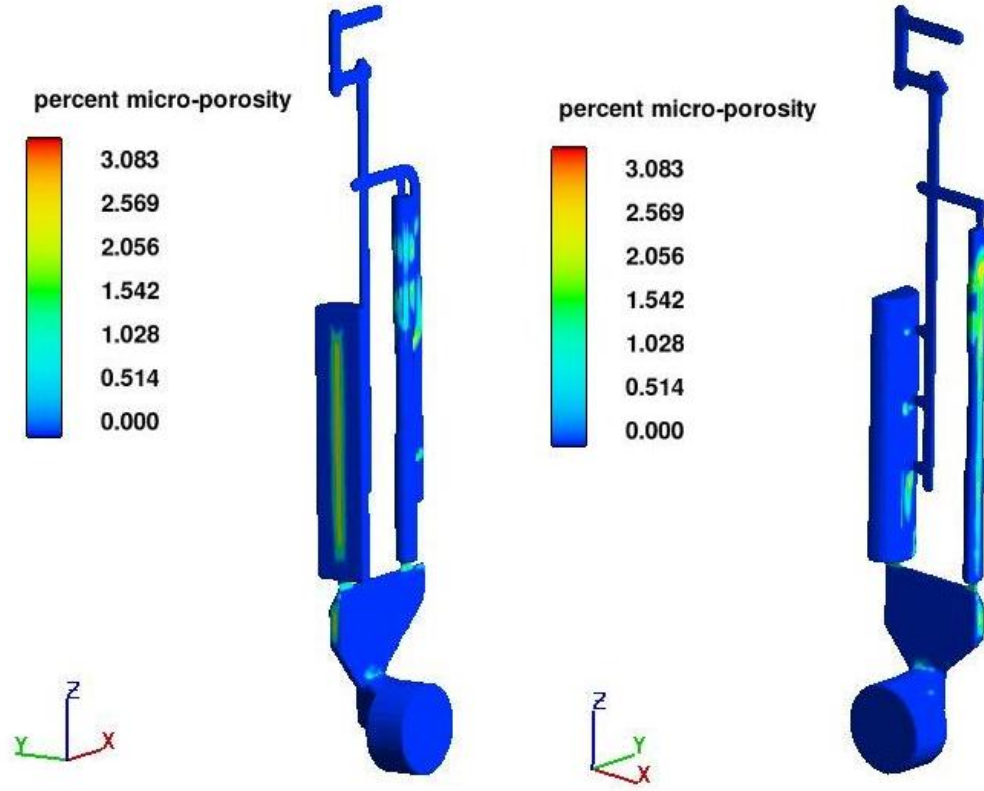
Vakumsuz

- (1) P100-V1_0,2-V2_1,7-M373-C983
- (2) P100-V1_0,2-V2_2,5-M373-C983
- (3) P100-V1_0,2-V2_1,7-M433-C983
- (4) P100-V1_0,2-V2_2,5-M433-C983
- (5) P100-V1_0,2-V2_1,7-M493-C983
- (6) P100-V1_0,2-V2_2,5-M493-C983
- (7) P100-V1_0,2-V2_1,7-M553-C983
- (8) P100-V1_0,2-V2_2,5-M553-C983
- (9) P100-V1_0,2-V2_1,7-M373-C1053
- (10) P100-V1_0,2-V2_2,5-M373-C1053
- (11) P100-V1_0,2-V2_1,7-M433-C1053
- (12) P100-V1_0,2-V2_2,5-M433-C1053
- (13) P100-V1_0,2-V2_1,7-M493-C1053
- (14) P100-V1_0,2-V2_2,5-M493-C1053
- (15) P100-V1_0,2-V2_1,7-M553-C1053
- (16) P100-V1_0,2-V2_2,5-M553-C1053

Vakumlu

- (17) P100-V1_0,2-V2_1,7-M373-C983
- (18) P100-V1_0,2-V2_2,5-M373-C983
- (19) P100-V1_0,2-V2_1,7-M433-C983
- (20) P100-V1_0,2-V2_2,5-M433-C983
- (21) P100-V1_0,2-V2_1,7-M493-C983
- (22) P100-V1_0,2-V2_2,5-M493-C983
- (23) P100-V1_0,2-V2_1,7-M553-C983
- (24) P100-V1_0,2-V2_2,5-M553-C983
- (25) P100-V1_0,2-V2_1,7-M373-C1053
- (26) P100-V1_0,2-V2_2,5-M373-C1053
- (27) P100-V1_0,2-V2_1,7-M433-C1053
- (28) P100-V1_0,2-V2_2,5-M433-C1053
- (29) P100-V1_0,2-V2_1,7-M493-C1053
- (30) P100-V1_0,2-V2_2,5-M493-C1053
- (31) P100-V1_0,2-V2_1,7-M553-C1053
- (32) P100-V1_0,2-V2_2,5-M553-C1053

Şekil 5.26. Flow3D programından alınan yüzdesel mikro porozite oranları



Şekil 5.27. Flow3D programından alınan yüzdesel mikro porozite görüntüleri

5.8. Yüksek Basıncılı döküm Prosesi Ürünlerinin Mekanik Özelliklerin İncelenmesi

Yüksek Basıncılı döküm (HPDC), sıvı metalin, farklı termal (kalıp sıcaklığı, döküm sıcaklığı) ve dinamik parametrelere (enjeksiyon hızı, basıncı) bağlı olarak metal kalıba gönderilmesi ve sonrasında kalıp içerisinde katılaşmasını tamamlayarak parça üretimine imkân veren modern bir üretim yöntemidir. Tanımından da anlaşılacağı üzere, HPDC yöntemiyle imal edilen ürünlerin mekanik özelliklerini belirleyen başlıca parametreler; kalıp sıcaklığı, döküm sıcaklığı, enjeksiyon basıncı, enjeksiyon hızı ve kalıp boşluğuna vakum uygulanmasıdır. Bu bağlamda, vakum uygulanmasına enjeksiyon termal ve dinamik parametrelerine bağlı olarak A360 alaşımı kullanılarak numuneler HPDC yöntemi ile imal edilmiştir. Doğrudan prostenen elde edilen ürünlerin mekanik özellikleri (çekme ve akma dayanımı) belirlenerek üretim parametrelerinin kaliteli ürün elde edilmesine yönelik etkileri deneysel olarak

araştırılmıştır. Çekme deneyleri TS EN ISO 6892-1 Standardına uygun olarak oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Her üretim parametresi için en az üç çekme deneyi tekrarlanmış ve elde edilen sonuçların ortalamaları sunulmuştur. Bu deneylerden elde edilen, enjeksiyon termal ve dinamik parametrelerinin çekme ve akma dayanımları üzerine etkisi çizelge 5.1. 'de sunulmuştur.

Çizelge 5.1. Vakumsuz şartlarda termal ve dinamik parametrelere bağlı çekme ve akma dayanımı sonuçları

		Çekme Dayanımı (MPa) Vakumsuz				Akma dayanımı (MPa) Vakumsuz			
Enj. Basıncı (Bar)		100 Bar		200 Bar		100 Bar		200 Bar	
Enj. Hızı (m/s)		1.70	2.50	1.70	2.50	1.70	2.50	1.70	2.50
T _{DÖKÜM} (K)	T _{KALIP} (K)	(m/s)	(m/s)	(m/s)	(m/s)	(m/s)	(m/s)	(m/s)	(m/s)
983	373	153.16	155.92	158.61	156.92	126.34	130.58	134.43	132.18
1053	373	166.03	168.98	181.45	174.76	131.16	139.08	150.9	142.4
983	433	166.47	175.54	182.98	180.94	132.09	143.22	154.16	152.04
1053	433	171.02	174.47	176.58	182.57	135.1	139.36	146.65	155.79
983	493	172.69	180.63	182.65	184.97	136.7	145.92	151.09	152.15
1053	493	172.99	182.17	186.33	185.89	136.66	147.83	148.25	147.25
983	553	176.22	179.28	183.27	181.64	141.63	148.78	149.21	148.99
1053	553	179.62	180.7	189.95	190.29	143.4	145.75	150.56	153.59

Çizelge 5.1. İncelendiğinde vakumsuz şartlarda 1.7 m/s enjeksiyon hızlarında yapılan deneyler ile 2.5 m/s hızlarında yapılan deneyler kıyaslandığında enjeksiyon hızının çekme dayanımını nispeten düşük değerlerde etkilediği görülmektedir. Hatta bazı durumlarda enjeksiyon hızının artırılması dolmuş süresini kısaltmakla birlikte sıvının kalıp içerisine dolmuş esnasında porozite oluşumuna neden olmakta ve mekanik özellikleri olumsuz etkilemektedir. Enjeksiyon basıncının 2 kat artırılması bu olumsuz durumu nispeten ortadan kaldırmaktadır. Bu durumda çok karmaşık olmayan parçalar için enjeksiyon hızının artırılması yerine basıncın artırılmasının daha uygun olacağı görülmektedir. Vakumsuz şartlarda en iyi çekme dayanımı sonucu döküm sıcaklığı 1053 K, kalıp sıcaklığı 533 K, enjeksiyon basıncı 200 bar ve her iki enjeksiyon hızı değeri (1.7-2.5) için elde edilmiştir.

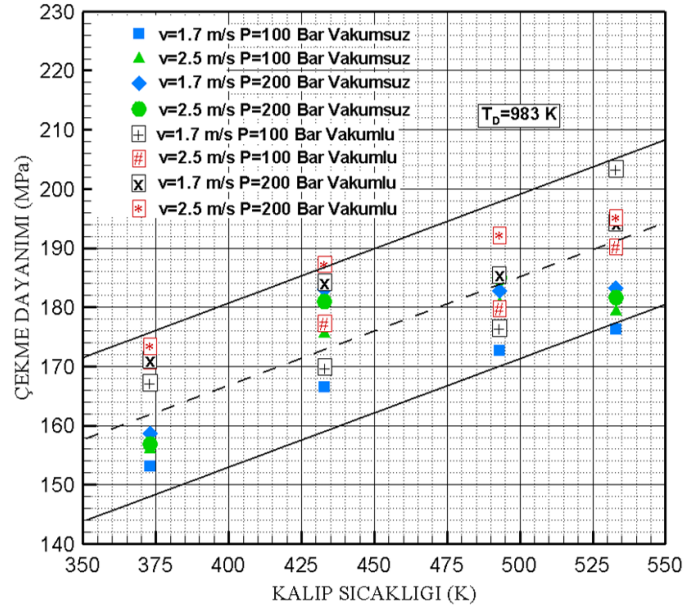
Çizelge 5.2. Vakumlu şartlarda termal ve dinamik parametrelere bağlı çekme ve akma dayanımı sonuçları

		Çekme Dayanımı (MPa)				Akma dayanımı (MPa)			
		Vakumlu				Vakumlu			
Enj. Basıncı (Bar)		100 Bar		200 Bar		100 Bar		200 Bar	
Enj. Hızı (m/s)		1.70	2.50	1.70	2.50	1.70	2.50	1.70	2.50
T _{DÖKÜM} (K)	T _{KALIP} (K)	(m/s)	(m/s)	(m/s)	(m/s)	(m/s)	(m/s)	(m/s)	(m/s)
983	373	167.24	171.03	171.08	173.45	140.03	141.07	141.33	147.5
1053	373	166.22	175.77	177.85	190.22	135.52	140.59	143.52	157.59
983	433	169.89	177.26	184.22	187.26	133.54	145.14	149.23	158.26
1053	433	174.14	178.53	183.99	189.43	138.93	140.58	152.63	158.99
983	493	176.51	179.77	185.44	192.16	137.83	142.55	159.12	162.55
1053	493	177.34	184.31	187.34	191.94	138.55	145.78	160.3	164.86
983	553	203.4	190.19	194.24	195.15	167.64	163.03	165.28	167.66
1053	553	186.56	190.22	193.88	199.71	138.55	145.78	160.3	164.86

Çizelge 5.2. İncelendiğinde vakumlu şartlarda yapılan deneylerde sabit kalıp sıcaklığı ve döküm sıcaklığı değerleri için enjeksiyon hızının %32 arttırılması ile tüm sonuçlar dikkate alındığında çekme dayanımı değerlerinde %2-5 aralığında bir iyileşmeye neden olmakla birlikte $T_D=983$, $T_K=533$, $V=1.7$ ve $P=100$ değeri için en yüksek çekme dayanımı elde edilmiştir. Vakumlu şartlarda kalıp sıcaklığı, döküm sıcaklığı ve enjeksiyon hızının sabit değerleri için enjeksiyon basıncının %100 arttırılması ile çekme dayanımında %2-6 civarında akma dayanımında ise %2-4 civarında bir iyileşmeye neden olmaktadır. Vakumlu şartlarda en iyi çekme dayanımı sonucu döküm sıcaklığı 983 K, kalıp sıcaklığı 533 K, enjeksiyon basıncı 100 bar ve her enjeksiyon hızı değeri 1.7 m/s için elde edilmiştir.

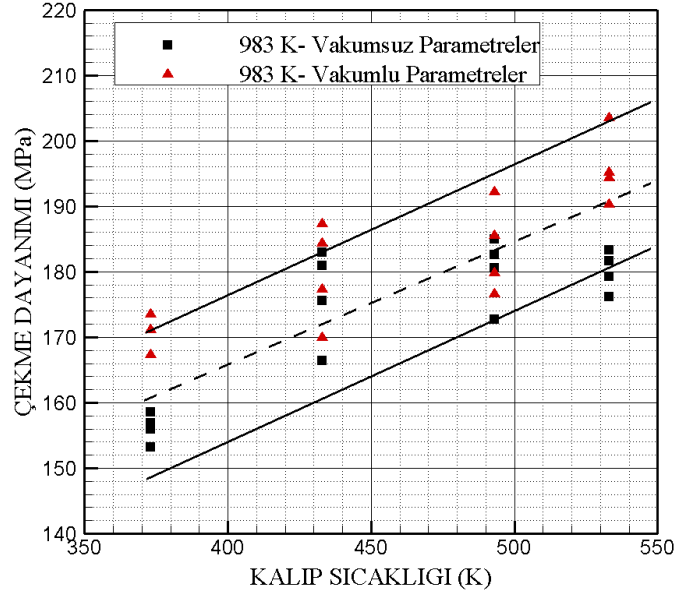
Her iki tablo birlikte değerlendirildiğinde kalıp sıcaklığı, döküm sıcaklığı ve vakum uygulamasının mekanik özelliklere etkisinin daha fazla olduğu görülmektedir. Tüm enjeksiyon parametreleri dikkate alındığında vakum uygulamasının çekme dayanımını % 14 civarına kadar iyileştirdiği tespit edilmiştir. Bununla birlikte vakum uygulamasının akma dayanımına etkisi de yaklaşık olarak % 8-15 civarında bir iyileşmeye neden olmaktadır.

Şekil 5.28'de 983K döküm sıcaklığı için kalıp sıcaklığına, enjeksiyon basıncına ve enjeksiyon hızına bağlı olarak yapılan deneysel çalışma sonuçları verilmiştir. Genel bir değerlendirme yapıldığında kalıp sıcaklığının artırılması ile çekme dayanımı sonuçlarında şekilde görüleceği üzere kayda değer bir artış gözlenmiştir. Vakumsuz şartlarda sabit enjeksiyon hızı ve basınç değerleri için kalıp sıcaklığının 373 K'den 533 K'e çıkarılması yani %30'luk bir artış ile çekme dayanımı değerlerinde %13-15 civarında bir iyileşme belirlenmiştir. Kalıp boşluğuna vakum uygulanması kalıp sıcaklığının artmasına da bağlı olarak çekme dayanımına olumlu yönde etki etmektedir.



Şekil 5.28. Kalıp sıcaklığı, enjeksiyon hızı, enjeksiyon basıncı, 983 K döküm sıcaklığı ve vakum uygulamasının çekme dayanımına etkisi

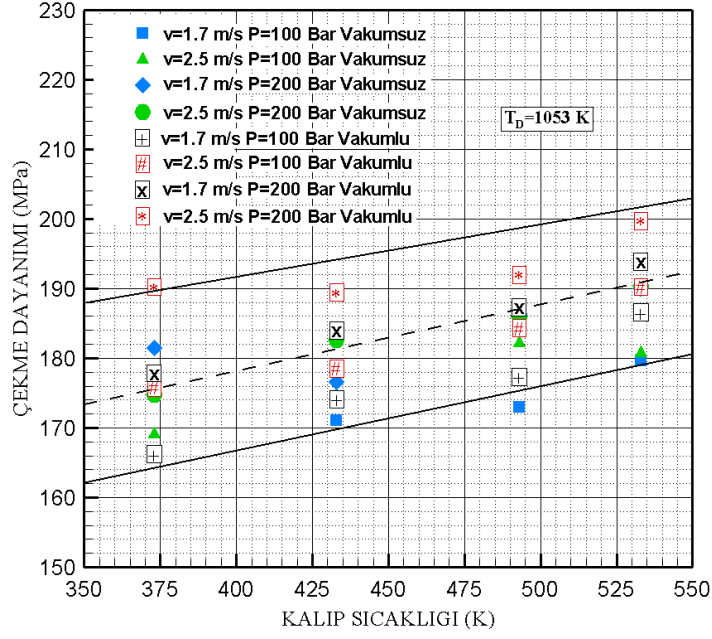
Vakumlu şartlarda sabit termal ve dinamik parametrelerde yapılan deneylerde kalıp sıcaklığının %30 artması ile çekme dayanımında %17-18 civarında bir iyileşme belirlenmiştir. 983K döküm sıcaklığı için tüm parametrelerde yapılan deneyler dikkate alındığında vakum uygulanmasının vakumsuz şartlar ile kıyaslandığında yaklaşık %2-5 çekme dayanımının artmasına neden olmaktadır (Şekil 5.29).



Şekil 5.29. Kalıp sıcaklığı, 983 K döküm sıcaklığı ve vakum uygulamasının çekme dayanımına etkisi

Şekil 5.29'da vakum uygulamasının etkisi net bir şekilde görülmektedir. Özellikle kalıp sıcaklığının artması ile vakum uygulamasının etkisi daha bariz ortaya çıkmaktadır. Basıncılı döküm prosesinde vakum uygulandığı şartlarda özellikle enjeksiyon dinamik parametrelerin daha düşük seviyelerde tercihi yapılabilmekte dolayısıyla sistemin çalışması esnasında yüksek basınç ve hızdan kaynaklanan olumsuzlukların önlenmesine ciddi katkılar sağlanabilecektir.

Şekil 5.30'da 1053K döküm sıcaklığında yapılan deneyler için elde edilen çekme dayanımı deney sonuçları incelenmiştir. Döküm sıcaklığının 983 K'den 1053 K artırılması ile çekme dayanımı sonuçlarında kalıp sıcaklığına nazaran daha düşük değerlerde iyileşme gerçekleşmiştir. Vakumsuz deneylerde sabit dinamik parametrelerde ve sabit kalıp sıcaklığı değerlerinde döküm sıcaklığının 100 K artırılması ile çekme dayanımı değerlerinde % 1-7 civarında bir iyileşme gerçekleşmiştir. Benzer durum vakumlu şartlarda yapılan deneyler içinde söz konusudur. Vakumlu parametrelerde çekme dayanımı değerlerinde maksimum %8 civarında bir iyileşme gerçekleşmiştir.

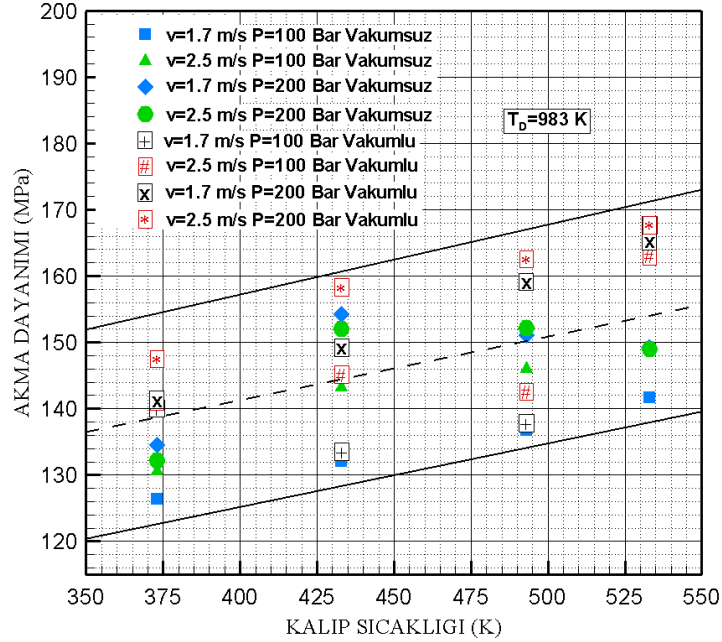


Şekil 5.30. Kalıp sıcaklığı, enjeksiyon hızı, enjeksiyon basıncı, 1053 K döküm sıcaklığı ve vakum uygulamasının çekme dayanımına etkisi

Şekil 5.28. ve Şekil 5.30. birlikte değerlendirildiğinde döküm sıcaklığının 983 K 'den 1053 K artırılması çekme dayanımını daha düşük değerlerde etkilemiştir. Bu durum şekil 5.28. ve 5.30'da verilen eğim açılarından da anlaşılmaktadır.

Basıncılı döküm prosesinden elde edilen numunelerin termal ve dinamik parametrelere bağlı olarak akma dayanımlarında meydana gelen değişimlerde incelenmiştir. Şekil 5.31'de 983K döküm sıcaklığı için kalıp sıcaklığına, enjeksiyon basıncına ve enjeksiyon hızına bağlı olarak yapılan deneysel çalışma sonuçları verilmiştir. Genel bir değerlendirme yapıldığında kalıp sıcaklığının artırılması ile çekme dayanımı sonuçlarına benzer akma dayanımı sonuçları elde edilmiştir. Vakumsuz şartlarda sabit enjeksiyon hızı ve basınç değerleri için kalıp sıcaklığının %30 artırılması ile akma dayanımı değerlerinde %9-12 civarında bir iyileşme belirlenmiştir. Kalıp boşluğuna vakum uygulanması akma dayanımına olumlu yönde etki etmektedir. Vakumlu şartlarda sabit termal ve dinamik parametrelerde yapılan deneylerde kalıp sıcaklığının %30 artması ile akma dayanımında %12-17 civarında bir iyileşme belirlenmiştir. 983K döküm sıcaklığı için tüm parametrelerde yapılan deneyler dikkate alındığında vakum uygulanmasının vakumsuz şartlar ile kıyaslandığında yaklaşık % 3-5 akma dayanımının artmasına neden olmaktadır (Şekil 5.31). Kalıp boşluğuna vakum uygulandığında hemen hemen tüm enjeksiyon termal ve dinamik parametreleri

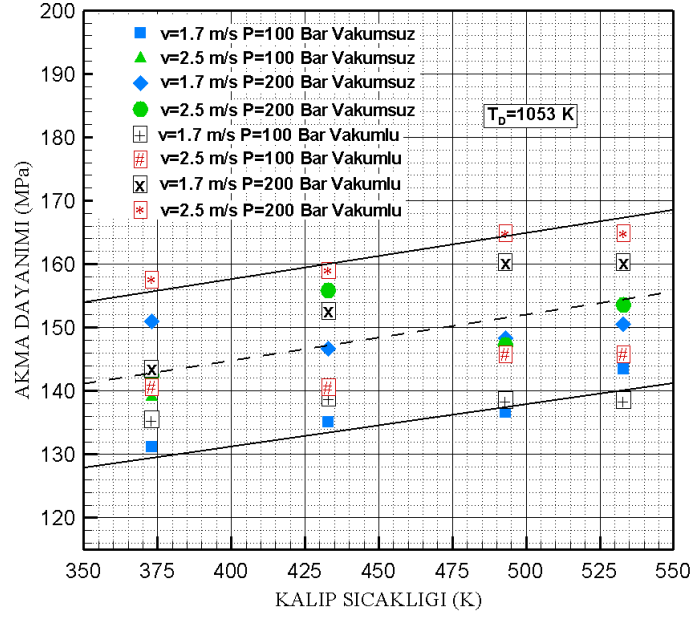
için akma dayanımı değerlerinde artış olduğu şekil 5.31’de görülmektedir. 373 ve 533 K kalıp sıcaklığı değerlerinde vakum uygulamasının akma dayanımına etkisi daha net olarak görülmektedir.



Şekil 5.31. Kalıp sıcaklığı, enjeksiyon hızı, enjeksiyon basıncı, 983 K döküm sıcaklığı ve vakum uygulamasının akma dayanımına etkisi

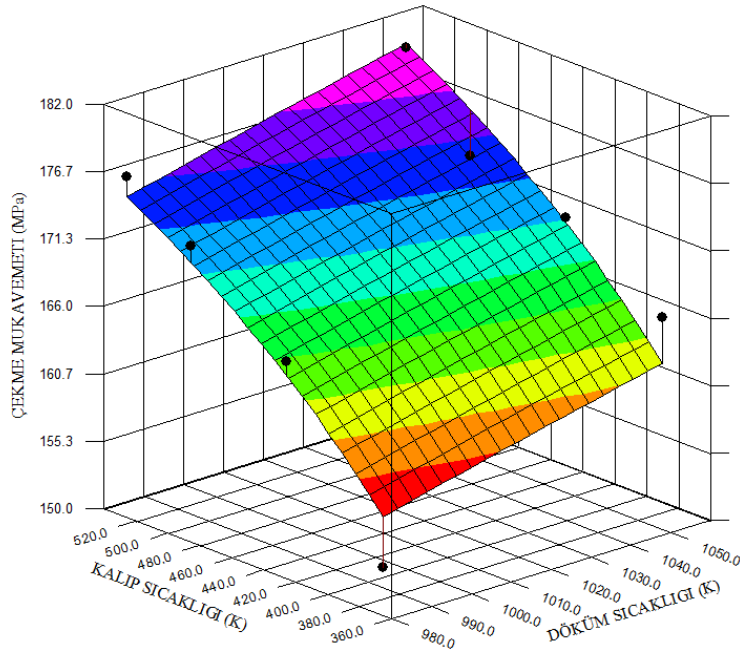
Şekil 5.32’de 1053K döküm sıcaklığında yapılan deneyler için elde edilen akma dayanımı deney sonuçları verilmiştir. Döküm sıcaklığının 100 K artırılması ile akma dayanımı sonuçlarında nispeten kalıp sıcaklığından daha düşük değerlerde iyileşme gerçekleşmiştir. Vakumsuz deneylerde sabit dinamik parametrelerde ve sabit kalıp sıcaklığı değerleri dikkate alındığında; akma dayanımı değerlerinde % 1-9 civarında bir iyileşme gerçekleşmiştir. Benzer durum vakumlu şartlarda yapılan deneyler içinde söz konusudur. Vakumlu parametrelerde akma dayanımı değerlerinde maksimum % 10 civarında bir iyileşme gerçekleşmiştir.

Şekil 5.31. ve Şekil 5.32.’de deney sonuçları için ortalama bir kestirim yapılmıştır. Döküm sıcaklığını dikkate alan bu kestirim dikkatlice incelendiğinde 983 K döküm şartlarında yapılan deneylerde kalıp sıcaklığının akma dayanımına olan etkisi 1053 K döküm sıcaklığında yapılan deneyler ile kıyaslandığında daha yüksek değerlerde gerçekleşmiştir. Bu durum kestirimin eğim açısından görülebilmektedir.



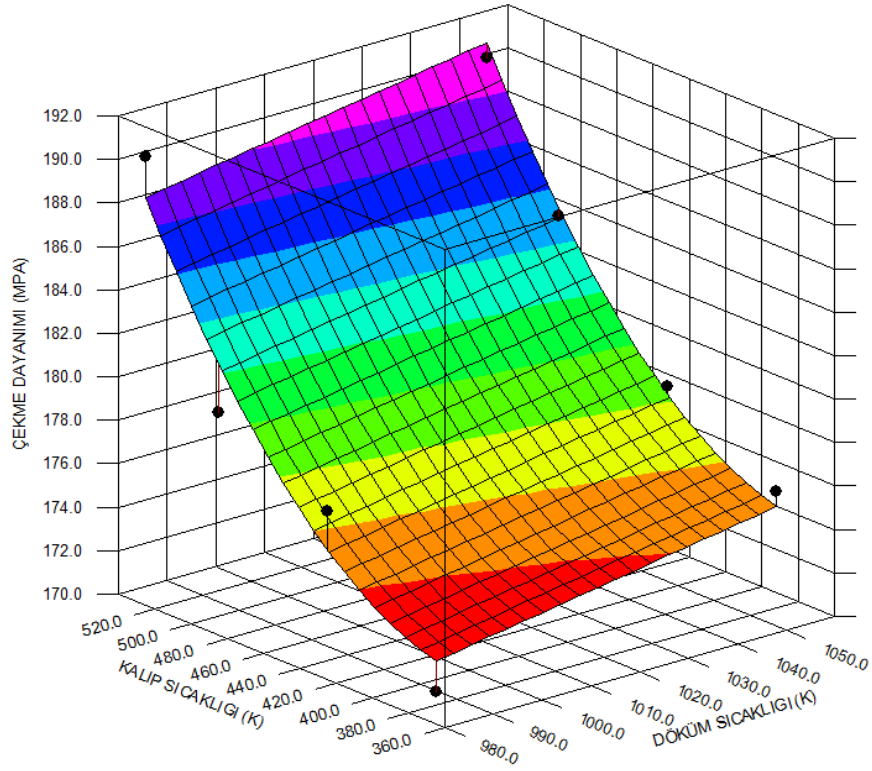
Şekil 5.32. Kalıp sıcaklığı, enjeksiyon hızı, enjeksiyon basıncı, 1053 K döküm sıcaklığı ve vakum uygulamasının akma dayanımına etkisi

Şekil 5.33'de 373 K kalıp sıcaklığı, 983 K döküm sıcaklığı, 1.7 m/s enjeksiyon hızı, 100 bar enjeksiyon basıncı ve vakumsuz şartlarda yapılan deneylerden elde edilen çekme dayanımı deney sonuçları ile kalıp sıcaklığı ve döküm sıcaklığı arasındaki ilişki verilmiştir. Kalıp sıcaklığının artması ile çekme dayanımı değerlerinde hızlı bir artış gözlenmiştir. Döküm sıcaklığı açısından değerlendirildiğinde bu artış nispeten daha yavaş seyretmektedir.



Şekil 5.33. Kalıp sıcaklığı, döküm sıcaklığı ve vakumsuz şartların çekme dayanımına etkisi

Şekil 5.34'de 373 K kalıp sıcaklığı, 983 K döküm sıcaklığı, 1.7 m/s enjeksiyon hızı, 100 bar enjeksiyon basıncı ve vakumlu şartlarda yapılan deneylerden elde edilen çekme dayanımı deney sonuçları ile kalıp sıcaklığı ve döküm sıcaklığı arasındaki ilişki verilmiştir. Vakumlu şartlarda yapılan deney sonuçları da vakumsuz şartlar ile benzer bir durumu ortaya koymaktadır. Bir başka deyişle kalıp sıcaklığının artması çekme dayanımı değerlerinde kayda değer artışa neden olmaktadır. Döküm sıcaklığının artması ise mekanik özellikleri daha düşük seviyelerde iyileştirmektedir.



Şekil 5.34. Kalıp sıcaklığı, döküm sıcaklığı ve vakumlu şartların çekme dayanımına etkisi

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Deneysel ve teorik olarak yapılan bu çalışmada basınçlı dökümde termal (kalıp sıcaklığı, döküm sıcaklığı) ve dinamik (enjeksiyon hızı, basınç, vakum uygulaması) parametrelere bağlı çalışmalar yürütülmüştür. Basınçlı döküm prosesinde ürün kalitesine etki eden bu parametrelerin mekanik özelliklere etkisi araştırılmıştır. Kalıp sıcaklığının, döküm sıcaklığının, enjeksiyon hızının, enjeksiyon basıncının ve vakum uygulanmasının özellikle çekme ve akma dayanımı üzerine etkileri deneysel olarak belirlenmiştir. Bununla birlikte döküm simülasyon programı yardımıyla teorik olarak; dolum süresi, katılma simülasyonları, son hava ve porozite miktarları da sonuç olarak sunulmuştur.

Çalışmadan elde edilen sonuçları kısaca özetlemek gerekirse;

- ✓ Döküm sıcaklığının 983 K'den 1053 K'e yükseltilmesi ile porozite miktarında kayda değer bir değişim gözlenmemiştir. Dolayısıyla döküm sıcaklığının artırılması parça başına maliyetleri artıracığından döküm sıcaklığının artırılmasına yönelik bir tercih uygun görülmemektedir.
- ✓ Vakum uygulaması yapıldığında dolum ve katılma sürelerinde azalma meydana gelmektedir.
- ✓ Döküm ve kalıp sıcaklığının artması döküm alaşımının daha uzun süre içerisinde katılmasına neden olmaktadır.
- ✓ Yapılan deneysel çalışmalarda döküm ve kalıp sıcaklığının artması ile yüzey kalitesi daha hassas parçalar üretilmiştir.
- ✓ İkinci faza geçiş noktası ve ikinci faz hızı mekanik özellikler açısından son derece önemlidir. Özellikle ikinci faz hızının artırılması ile sıvı metal kalıp boşluğuna yüksek hızda fışkırır ve kalıp içerisindeki havanın dışarıya atılmasına fırsat vermeden içerde hapsolmesine neden olur. Bu durum porozite oluşumunun artmasına neden olur. Yapılan simülasyonlarda da benzer bir durum ortaya çıkmıştır. İkinci faz hızının artırılması porozite oranlarını artırmıştır.
- ✓ Her bir döküm çevrimi için hazne içerisine konulacak sıvı metal miktarı eşit olmalıdır. Aksi takdirde topuk (Biscuit) miktarı artacağından ürün

kalitesinde ciddi değişimler olacaktır. Bu nedenle sıvı metal miktarı iyi ayarlanmalıdır. Böylece kalite yönünden artış sağlanmakla birlikte hurda oranı da azalmaktadır.

Basınçlı döküm prosesinden elde edilen numunelerin çekme ve akma dayanımı sonuçları için genel bir değerlendirmek yapmak gerekirse;

- ✓ Kalıp sıcaklığının artırılması çekme dayanımı ve akma dayanımı sonuçlarında en kayda değer iyileşmeye neden olmaktadır.
- ✓ Kalıp sıcaklığının artırılması ile eş zamanlı kalıp boşluğuna vakum uygulaması mekanik özelliklere olumlu katkı sağlamaktadır.
- ✓ Enjeksiyon hızının artırılması gözenek oluşumuna neden olmakta dolayısı ile mekanik özelliklere enjeksiyon hızının artırılmasının etkisi sınırlı düzeyde hatta bazı durumlarda olumsuz etkilemektedir.
- ✓ Enjeksiyon basıncının artışı ile mekanik özelliklerin olumlu etkilendiği söylenebilir.
- ✓ Döküm sıcaklığının artırılması kalıp sıcaklığı ile kıyaslandığında daha düşük seviyelerde mekanik özelliklerin iyileşmesine neden olmaktadır.
- ✓ Basınçlı dökümde vakum uygulanması ile hem dinamik hem de termal parametreler için düşük değerler seçilebilir. Bu durum kalıp ömrünün uzamasına, enjeksiyon makinesinin daha fonksiyonel çalışmasına neden olacaktır. Ayrıca düşük kalıp ve döküm sıcaklığı parça başına enerji maliyetlerinin düşmesini sağlayarak rekabet gücünü artırabilecektir.
- ✓ Vakum uygulaması ile porozite oluşumu engellenebilecek dolayısıyla üretilen ürünün mekanik ve metalürjik özelliklerinin iyileşmesi sağlanabilecektir. Mekanik özelliklerin iyileştirilmesi tam veya yarı mamul ürün yelpazesinin genişlemesine yol açabilecektir.
- ✓ Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda kullanılan silindirik geometrideki model için en iyi döküm parametreleri; en yüksek çekme dayanımı değerlerini veren şartlar olup, kalıp sıcaklığı 533 K, döküm sıcaklığı 983 K, ikinci faz hızı 1.7 m/s, enjeksiyon hızı 100-200 bar ve vakumlu şartlarda gerçekleştirilen üretimlerdir.

KAYNAKLAR

- Aksoylu, B., Ensari, M.C., 2005. Basınçlı (Enjeksiyon) dökümde vakum uygulaması, Metal Dünyası, 148, 143-147.
- Andresen, B., 2005. Die Casting Engineering. Marcel Dekker, 381s., Amerika.
- Aran, A., 2007. Döküm Teknolojisi, İmal usulleri ders notları. İstanbul Teknik Üniversitesi, Makina Fakültesi. 107p.
- Arda, İ., Kayıkçı, R., 2006. Döküm simülasyonu nedir? Ne değildir? Metal Dünyası, 154, 144-148.
- Aslan, O. S., 2007. Basınçlı Dökümde Kaliteyi Etkileyen Faktörlerin Araştırılması. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 84s., İstanbul.
- ASM International Handbook Commitee, 1993. ASM Handbook Volume 5, Forging and Casting. ASME International, 3142s., Amerika.
- Bar-Meir, G., 2000. Fundamentals of Die Casting Design. Gnu Free Document, 185s., Minneapolis.
- Barkhudarov, M. High Pressure Die Casting Simulation With Flow-3D. Flow Science Inc.
- Barkhudarov, M. Advanced Simulation of the Flow and Heat Transfer Process in Simultaneous Engineering. Flow Science Inc.
- Boydak, Ö., 2007. An Experimental and A Numerical Investigation of A High Pressure Die Casting Aluminium Alloy. Boğaziçi Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 121s., İstanbul.
- Campbell, J., 2002. Casting. Butterworth Heinemann, 288p, Oxford, UK.
- Cleary, P.W., Ha, J., Prakash, M., Nguyen, T., 2006. 3D SPH Flow predictions and validation for high pressure die casting of automotive components. Applied Mathematical Modeling, 30, 1406-1427.
- Çiğdemoğlu, M., 1972. Basınçlı Döküm. Makine Mühendisleri Odası, Ankara.
- Çolak, M., Kayıkçı, R., 2005. Döküm simülasyon programları üzerine bir değerlendirme, Metal Dünyası, 189, 2-4.
- Doehler, H.H., 1974. Basınçlı Döküm. Çeviren, Bayvas, M.Ş., Mesleki ve Teknik Öğretim Kitapları, Etüd Ve Programlama Dairesi Yayınları No:80, Erkek Teknik Yüksek Öğretmen Okulu Matbaası, 514s, Ankara.

- Dour, G., Dargusch, M., Davidson, C., 2006. Recommendations and guidelines for the performance of accurate heat transfer measurements in rapid forming processes. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 49, 1773–1789.
- Ertürk, S.Ö., 2010. Al Alaşımlarının Basınçlı Dökümünde Yolluk Sistemlerinden Kaynaklanan Gaz Problemlerinin Simülasyon Tekniği ile İncelenmesi. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 110s., Sakarya.
- Flender, E., Hartman, G., 2008. Modeling and Simulation in High Pressure Die Casting. *Metal World*, 10-17.
- Flemings, C. M., 1976. Döküm Ve Katılaştırma Tekniği. Çeviren, Başaran, M., İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası, Gümüşsuyu, 415s, İstanbul.
- Flemings, C. M., 2008. Solidification Process. 3(1974), 1- 705.
- Gözen, A., 2007. Basınçlı Döküm Kalıplarında Yolluk Sistemlerinin Tasarımı ve Simülasyonunun İncelenmesi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 108s., İstanbul.
- Gültekin, N., 2011. Etial 150 Alüminyum Alaşımının Talaşlı İşlenebilme ve Mekanik Özelliklerine Enjeksiyon Parametrelerinin Etkisi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 108s., Isparta.
- Huang, Y. J., Hu, B. H., Pinwill, I., Zhou, W., Taplin, D.M.R., 2000. Effect of process settings on the porosity levels of AM60B magnesium die castings. *Materials and Manufacturing Process*, 1(1), 97-105.
- Imwinkeleid, T., Homberger, H., 2001. Mould Fill Simulation to Improve the Quality of a Component. *Magnesium Industry*, 39-43.
- İpek, O., Koru, M., 2011. Yüksek Basınçlı Döküm Prosesinde Kalıp Sıcaklığına Bağlı Olarak Döküm-Kalıp Ara Yüzeyinde Oluşan Termal Temas Direncinin Belirlenmesi. *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 31(1), 45-57.
- Jin, C.K., Kang, C.G., 2011. Fabrication process analysis and experimental verification for aluminum bipolar plates in fuel cells by vacuum die-casting. *Journal of Power Source*, 196, 8241-8249.
- Jin, C.K., Kang, C.G., 2012. Fabrication by vacuum die casting and simulation of aluminum bipolar plates with mikro-channels on both sides for proton exchange membrane (PEM) fuel cells. *International Journal of Hydrogen Energy*. 32, 1661-1676.
- Kang, C. G., Seo, P., K., Kang, K., K., 2006. The Effect of Injection Velocity on Liquid Segregation and Mechanical Properties in Arm Part Fabricated by Semi-Solid Die Casting Process. *Journal of Materials Processing Technology*, 176, 32-40.

- Karataş, Ç., Kahraman,E., 2003. Basınçlı Metal Döküm Makine ve Kalıpları. Kalıp Dünyası Dergisi,19, 114-120.
- Krimpenis, A., Benardos, P.G., Vosniakos, G.C., Koukouvitaki, A., 2006. Simulation-Based selection of optimum pressure die-casting process parameters using neural nets and genetic algorithms. Int J Adv Manuf Technol, 27, 509–517.
- Koru, M., 2009. Basınçlı Döküm Yönteminde Al-Si (A413) Alaşımının Termal ve Dinamik Parametrelere Bağlı Olarak Ara Yüzey Isı Transfer Katsayısının Deneysel ve Teorik İncelenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 127s., Isparta.
- Lewis, R. W., Ravindran, K., 2000. Finite element simulation of metal casting international journal for numerical methods. In Engineering Int. J. Numerical Method. Engineering. 47, 29, 59.
- Long, A., Thornhill, D., Armstrong, C., Watson, D., 2011. Determination of The Heat Transfer Coefficient at The Metal-Die Interface For High Pressure Die Cast AlSi9Cu3Fe. Applied Thermal Engineering, 31, 3996-4006.
- Majchrzak, E., Szopa, R., 2001. Analysis of thermal processes in solidifying casting using the combined variant of the BEM. Journal of Materials Processing Technology, 109, 126-132.
- Marques, M.H., 2006. CAE Techniques for casting optimization. Instituto de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial, 4s., Portugal.
- Matthew, S.D., Dour, G., Schauer, N., Dinnis C.M., Savage, G., 2006. The influence of pressure during solidification of high pressure die cast aluminum telecommunications components. Journal of Materials Processing Technology, 180, 37-4.
- Miller, R.A., 2002. Prediction of part distortion in die casting. The Ohio State University 210 Baker Systems Building 1917 Neil Avenue Columbus, 43210.
- Okcu, I. Y., 2011. Effect of Process Parameters on Mechanical Properties of High Pressure Die Cast Magnesium AZ91 Components. Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 107s., Ankara.
- Özcömert, M., 2006. İstanbul Ticaret Odası Otomotiv Endüstrisinde Alüminyum. 22s., İstanbul.
- Papai, J.P., 1994, Contact heat transfer coefficient in aluminum alloy die casting: an experimental and numerical investigation. Ph. D. Thesis, The Ohio State University, 285P.

- Rundman, K.B., 2002. Metal Casting Reference Book For My4130. Dept. of Materials Science And Engineering Michigan Tech. University. <http://www.mse.mtu.edu/classes/my4130/MY4130text.pdf> Erişim Tarihi: 10.01.2008.
- Savaş, Ö., Kayıkcı, R., Cüceloğlu, E., 2005. Alüminyum-Silisyum Alaşımlarının Dökümünde Mikro Porozite Probleminin İncelenmesi. Metal Dünyası, 144, 119-123.
- Serçe, O., 2015, Yüksek basınçlı döküm prosesinde enjeksiyon parametrelerine bağlı olarak döküm simülasyonu, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Enerji sistemleri mühendisliği ABD, Y. Lisans Tezi, 81s., Isparta.
- Sirviö, M., Vapalahti, S., Väinölä, J., 2007. Complete Simulation of High Pressure Die Casting Process. <http://www.castingsimulation.com>, 6s.
- Sung, B. S., Kim, I., S., 2008. The Molding Analysis of Automobile Parts Using The Die-Casting System. Journal of Materials Processing Technology, 201, 635-639.
- Stefanescu, D. M., 2005. Computer Simulation of Shrinkage Related Defects in Metal Castings Review. International Journal of Cast Metals Research, 18(3), 129-145.
- Şirin, S., 2010. Kalın Kesitli Yüksek Basınçlı Dökümlerde Döküm ve Simülasyon Parametrelerinin İncelenmesi. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 86s., Sakarya.
- The Materials Information Society ASM Handbook, 1998. Casting. Volume 15, 287-295p, USA.
- Uludağ, A., 2007. Basınçlı Döküm Yönteminde Kalıp Sistem Tasarımı ve Simülasyon Analizi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 91s., İstanbul.
- Venkatesan, A., Gopinath, V.M., Rajadurai, 2005. A., Simulation of casting solidification and its grain structure prediction using FEM. Journal of Materials Processing Technology, 168, 10-15.
- Verran, G., O., Mendes, R. P. K., Rossi, M. A., 2006. Influence of Injection Parameters on Defects Formation in Die Casting Al₁₂Si_{1,3}Cu: Experimental Results and Numeric Simulation. Journal of metarials Processing Technology, 179, 190-195.
- Vinarcık, J.E., 2003. High Integrity Die Casting Processes. John Wiley&Sons, 223p, New York, USA.

- Yan, H., Zhuang, W., Hu, Y., Zhang, Q., Jin, H., 2007. Numerical Simulation of AZ91D Alloy Automobile Plug in Pressure Die Casting Process. *Journal of Materials Processing Technology*, 187-188, 349-353.
- Yongbao, L., Zhou, W., 2003. Numerical simulation of filling process in die casting. *Materials Technology*, Vol. 18, No. 1, 36-41.
- Yüksel, S., Göloğlu C., 2009. Metal enjeksiyon kalıplamada yolluk tasarımı sistematiği. 5. Uluslar arası İleri Teknolojiler Sempozyumu, Karabük Üniversitesi, Karabük.
- Zhao, H., Bai, Y., Ouyang, X., Dong, P., 2010. Simulation of Mold Filling and Prediction of Gas Entrapment on Practical High Pressure Die Castings. *Transaction of Nonferrous Metals Society of China*, 20, 2064-2070.

ÖZGEÇMİŞ



Adı Soyadı : Turgut ÖZMEN

Doğum Yeri ve Yılı : Sinop, 1991

Medeni Hali : Bekar

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : turgut.ozmen@hotmail.com

Eğitim Durumu

Lise : Sinop Teknik Lisesi, 2009

Lisans : SDÜ, Teknik Eğitim Fakültesi, Mekatronik Öğretmenliği, 2013

Lisans : GAZİOSMANPAŞA Üniversitesi, Mühendislik Ve Doğa Bilimleri

Fakültesi Mekatronik Mühendisliği, 2015

Mesleki Deneyim

Makine teknolojileri geliştirme ve kullanıma hazır hale getirme üzerine 10 yıllık deneyim ve tecrübe.

Ulusal Kuruluşlarca Desteklenen Projelerde Görev Alma

Koru, M., Serçe, O., Özmen, T., 2014 (Devam Ediyor). Yüksek Basıncılı Döküm Prosesinde (HPDC) Kalıp Sıcaklığına Bağlı Olarak Döküm Simülasyonu Ve Döküm-Kalıp Ara Yüzey Isı Transfer Katsayısının (IHTC) Belirlenmesi. TÜBİTAK 1002, Proje No: 114M003.