

**T.C.  
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DÖKÜM HATALARI VE ÖNLENMESİ İÇİN TASARIM  
YÖNTEMLERİ**

**TEZSİZ YÜKSEK LİSANS  
DÖNEM PROJESİ**

**MUSTAFA AKAR**

**DENİZLİ, OCAK - 2018**

**T.C.**  
**PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



**DÖKÜM HATALARI VE ÖNLENMESİ İÇİN TASARIM**  
**YÖNTEMLERİ**

**TEZSİZ YÜKSEK LİSANS**  
**DÖNEM PROJESİ**

**MUSTAFA AKAR**

**DENİZLİ, OCAK - 2018**

## KABUL VE ONAY SAYFASI

**MUSTAFA AKAR** tarafından hazırlanan “**DÖKÜM HATALARI VE ÖNLENMESİ İÇİN TASARIM YÖNTEMLERİ**” adlı tezsiz yüksek lisans dönem projesi danışmanlığımda hazırlanmış olup 25.01.2018 tarihinde son kontrolü yapılarak Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı tezsiz yüksek lisans dönem projesi olarak kabul edilmiştir.

İmza

Danışman  
**Doç. Dr. Özler KARAKAŞ**

.....

Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun  
..... tarih ve ..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....

Prof. Dr. Uğur YÜCEL

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

**Bu dönem projesinin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.**

**MUSTAFA AKAR**

## **ÖZET**

### **DÖKÜM HATALARI VE ÖNLENMESİ İÇİN TASARIM YÖNTEMLERİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MUSTAFA AKAR**

**PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
(TEZ DANIŞMANI: DOÇ. DR. ÖZLER KARAKAŞ)**

**DENİZLİ, OCAK - 2018**

Endüstriyel üretimde önemli bir yer tutan farklı malzemelerin döküm tekniği, döküm yöntemleri, kalıp ve maça tekniği, kalıplamada ve dökümde oluşan hatalar ve bu hataların giderilmesi bu çalışmanın esasını oluşturmuştur. İnsanlık tarihinde metallerin keşfi ile metal işleme ve şekillendirme hemen hemen aynı anda hayata geçirilmiştir. Bu anlamda dökümcülük ve döküm tekniği çağlar boyunca gelişimini sürdürmüş, günümüz bilgi çağında ise simülasyon ortamında olası hatalar ve giderilme yöntemleri önceden öngörülerek hatasız, kaliteli, daha ekonomik ve daha dayanıklı son ürün eldesi sağlanmıştır.

**ANAHTAR KELİMELELER:** Döküm, kalıp, maça, şablon.

# **ABSTRACT**

## **CASTING DEFECTS AND DESIGN METHODS FOR PREVENTION**

**MSC THESIS  
AKAR, MUSTAFA  
PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE  
MECHANICAL ENGINEERING  
(SUPERVISOR:DOÇ. DR. ÖZLER KARAKAŞ)**

**DENİZLİ, JANUARY 2018**

Casting techniques, casting methods, mold and core techniques, molding sand casting mistakes and elimination of these faults are the basis of this work. In the history of mankind, the discovery of metals and metal machining and shaping have been realised almost at the same time. In this sense, the casting and casting technique has continued to develop during the ages. In today's information age, the mistakes and the methods of elimination are predicted before hand in the simulation environment.

**KEYWORDS:** Casting, mold, core, pattern.

# İÇİNDEKİLER

## Sayfa

ÖZET.....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
ABSTRACT .....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
İÇİNDEKİLER .....	iii
ŞEKİL LİSTESİ.....	vii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	x
SEMBOL LİSTESİ.....	xi
ÖNSÖZ.....	xii
<b>1. DÖKÜMCÜLÜK VE DÖKÜM TEKNİĞİNE GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
1.1 Döküm Tekniği ve Tarihçesi .....	1
1.2 Anadolu'da Dökümcülüğün Tarihçesi .....	3
1.3 Osmanlı'larda Döküm ve Metallurji Teknolojisinin Gelişimi .....	4
1.4 Avrupa'da Döküm Tekniği, Tarihçesi ve Osmanlıya Etkileri.....	5
1.5 Döküm Sanayinin Gelişimi .....	7
1.5.1 Döküm Sanayisinin Dünyadaki Gelişimi .....	7
1.5.2 Dünyada Döküm Üretimi.....	10
<b>2. DÖKÜM YÖNTEMLERİ .....</b>	<b>12</b>
2.1 Kum Kalıba Döküm .....	15
2.2 Kum Esaslı Kalıp Türleri .....	16
2.2.1 Yaş Kum Kalıplar .....	16
2.2.1.1 Yaş Kum Kalıbının Üstünlükleri .....	17
2.2.1.2 Yaş Kum Kalıbının Dezavantajları .....	17
2.2.2 Kuru Kum Kalıplar .....	17
2.2.2.1 Kuru Kum Kalıplamanın Üstünlükleri.....	18
2.2.3 Toprak (Balçık) Kalıplar.....	19
2.2.4 Çukur Kalıplar .....	20
2.2.5 Karbondioksit yöntemi .....	21
2.2.5.1 CO <sub>2</sub> Yönteminin Üstünlükleri.....	22
2.2.5.2 CO <sub>2</sub> Yönteminin Olumsuzlukları .....	22
2.2.6 Kabuk Kalıplar.....	22
2.2.6.1 Kabuk Kalıpların Üstünlükleri.....	25
2.2.6.2 Kabuk Kalıbın Dezavantajları.....	25
2.2.7 Havada Sertleşen (Air-set) Kalıplar.....	25
2.2.8 Çimento Bağlayıcılı Kalıplar .....	26
2.2.9 Vakum Kalıplama Yöntemi .....	26
2.2.9.1 Vakum Kalıplamanın Avantajları .....	27
2.2.9.2 Vakum Oluşturmanın Dezavantajları.....	28
2.2.10 Dolu Kalıba Döküm.....	28
2.2.11 Savurma Döküm .....	31
2.2.11.1 Yarı Savurma Döküm .....	32
2.2.11.2 Savurma Döküm .....	33
2.3 Diğer Döküm Yöntemleri.....	34
2.3.1 Harcanan Kalıp Kullanılan Yöntemler .....	34
2.3.1.1 Hassa Döküm .....	34
2.3.1.1.1 Hassas Dökümün Üstünlükleri .....	38

2.3.1.1.2	Hassas Dökümün Dezavantajları .....	38
2.3.1.2	Alçı Kalıba Döküm .....	38
2.3.2	Direk Basıncılı Döküm Yöntemleri .....	40
2.3.2.1	Sıcak Hazneli Döküm Makineleri .....	41
2.3.2.2	Soğuk Hazneli Döküm Makinesi .....	42
2.3.2.3	Basıncılı Döküm Kalıpları .....	43
2.3.2.4	Basıncılı Dökümün Olumlu ve Olumsuz Yönleri .....	43
<b>3.</b>	<b>MALZEMELERİNE GÖRE DÖKÜMLER.....</b>	<b>44</b>
3.1	Alüminyum Dökümler .....	44
3.1.1	Basıncılı Döküm .....	44
3.1.2	Düşük Basıncılı Döküm Yöntemi .....	44
3.1.3	Kum Döküm Yöntemi .....	44
3.1.4	Cosworth Döküm Yöntemi .....	44
3.1.5	HVS Yöntemi .....	45
3.1.6	Metal Kalıba Gravite Döküm Yöntemi .....	45
3.1.7	Karşı Basıncılı Döküm Yöntemi.....	45
3.1.8	Düşey Sürekli Döküm Yöntemi.....	46
3.1.9	Hassas Döküm Yöntemi .....	47
3.1.10	Dolu Kalıp Yöntemi.....	48
3.1.11	Sıvı Presleme Yöntemi .....	48
3.1.12	Thixofforming Yöntemi .....	48
3.2	Magnezyum Döküm Yöntemleri .....	49
3.2.1	Magnezyum Alaşımlarının Basıncılı Dökümü .....	51
3.2.1.1	Magnezyumun En Önemli Döküm Alaşımları .....	52
3.2.2	Mg Alaşımlarının Kum Kalıba Dökümü .....	52
3.3	Bakır ve Alaşımlarının Dökümü .....	53
3.4	Bakır Alaşımlarının Sınıflandırılması .....	54
3.4.1	Dövme Bakır Alaşımları .....	54
3.4.2	Döküm Bakır ve Alaşımları .....	55
3.5	Döküm Çelikler .....	56
3.5.1	Karbonlu Çelikler .....	57
3.5.2	Alaşımlı Çelikler.....	57
3.5.2.1	Çelik Alaşım Elementleri ve Etkileri .....	58
<b>4.</b>	<b>DÖKÜM HATALARI VE ALINMASI GEREKEN ÖNLEMLER .....</b>	<b>62</b>
4.1	Döküm Hataları .....	62
4.1.1	Döküm Hatalarının Oluş Nedenleri .....	62
4.2	Döküm Hatalarının Türleri .....	62
4.2.1	Gaz Boşlukları .....	63
4.2.1.1	Gaz Boşluklarının Oluş Nedenleri .....	64
4.2.1.2	Gaz Boşluklarının Önlenmesi İçin Yapılması Gerekenler .....	64
4.2.2	Çukurluklar, Çizgiler, Pullar .....	66
4.2.2.1	Oluşum Nedenleri .....	66
4.2.2.2	Hataların Önlenmesi.....	67
4.2.3	Dart .....	67
4.2.3.1	Dart'ın Oluş Nedenleri .....	68
4.2.3.2	Dart'ın Önlenmesi Yöntemleri.....	69
4.2.4	Kopma ve Sürüklemeler .....	70
4.2.4.1	Oluş Nedenleri .....	70
4.2.4.2	Kopma ve Sürüklenmenin Önlenmesi .....	71
4.2.5	Sıvı Metalin Kuma İşlemesi .....	71



4.2.5.1	Metal İşlemesinin Oluş Nedenleri.....	72
4.2.5.2	Metalin Kuma İşlemesinin Önlenmesi.....	73
4.2.6	Kum Düşmeleri.....	73
4.2.6.1	Kum Düşmelerinin Oluş Nedenleri.....	74
4.2.6.2	Düşmelerin Önlenmesi.....	75
4.2.7	Saçma.....	75
4.2.7.1	Saçmanın Oluş Nedenleri.....	76
4.2.7.2	Saçma'nın Önlenmesi .....	77
4.2.8	Sertlik.....	77
4.2.8.1	Oluş Nedenleri .....	78
4.2.8.2	Sertliğin Önlenmesi Yöntemleri .....	78
4.2.9	Sert Bölgeler ve Sertleşmiş Noktalar.....	79
4.2.9.1	Set Bölgelerin Oluş Nedenleri .....	79
4.2.9.2	Önlenme Yöntemleri.....	80
4.2.10	Soğuk Birleşme ve Eksik Kalmalar .....	80
4.2.10.1	Oluş Nedenleri .....	81
4.2.10.2	Önleme Yöntemleri.....	82
4.2.11	Kaçıklık.....	83
4.2.11.1	Kaçıklığın Oluş Nedenleri.....	83
4.2.11.2	Kaçıklığı Önleme Yöntemleri.....	84
4.2.12	Çapak .....	84
4.2.12.1	Çapağın Oluş Nedenleri .....	85
4.2.12.2	Çapağı Önleme Yöntemleri.....	86
4.2.13	Forsa ve Sızmalar.....	86
4.2.13.1	Forsanın Oluş Nedenleri .....	86
4.2.13.2	Forsayı Önleme Yöntemleri.....	87
4.2.14	Maçaların Kalkması (Yüzmesi).....	88
4.2.14.1	Maçaların Yüzme Nedenleri .....	88
4.2.14.2	Maça Yüzmesinin Önlenmesi .....	89
4.2.15	Döküm Parçalarında Cüruf ve Diğer Yabancı Maddeler.....	89
4.2.15.1	Cüruf Oluş Nedenleri .....	90
4.2.15.2	Cüruf Önleme Yöntemleri.....	90
4.2.16	Metal ve Alaşımlarının Çekmesinden Oluşan Hatalar .....	91
4.2.16.1	Çöküntü .....	91
4.2.16.1.1	Çöküntünün Oluş Nedenleri .....	92
4.2.16.2	Gerilmeler ve Çatlamalar .....	93
4.2.16.3	Döküm Parçalarının Çarpılması.....	94
<b>5.</b>	<b>DÖKÜM TASARIM İLKELERİ.....</b>	<b>96</b>
5.1	Döküm Parçası Tasarlama.....	96
5.2	Biçimlendirme İlkeleri .....	98
<b>6.</b>	<b>KATILAŞMA KURALLARI, İÇYAPILAR VE DENDRİTİK İÇ YAPILAR .....</b>	<b>116</b>
6.1	Katılma Kuralları .....	116
6.1.1	Katılma .....	116
6.1.2	Saf Metallerin Katılması.....	116
6.1.2.1	Çekirdeklenme .....	116
6.1.2.2	Homojen Çekirdeklenme .....	117
6.1.2.3	Heterojen Çekirdeklenme.....	118
6.1.2.4	Kristal Büyümesi: Dendritik .....	118
<b>7.</b>	<b>ERGİTME OCAKLARI.....</b>	<b>121</b>

7.1	Pota Ocakları .....	121
7.2	Kupol Ocakları: .....	130
<b>8.</b>	<b>DÖKÜM TASARIMI VE PERFORMANS .....</b>	<b>131</b>
8.1	Döküm Tasarımı Sorunları ve Uygulamaları .....	131
8.2	Geometri / Malzeme / Süreç Etkileşimleri .....	133
8.3	Maliyet Faktörleri.....	138
<b>9.</b>	<b>SONÇ VE ÖNERİLER.....</b>	<b>152</b>
	<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>153</b>
	<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>155</b>

## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 2.1: Şekil döküm işleminin grafiği (ASM International 2009).....	13
Şekil 2.2: Bir kum kalıbının başlıca bileşenleri. (a) Alt ve üst derecelerin kalıp montajı. (b) Kalıp ile maçanın kesit alanı (ASM International 2009).....	14
Şekil 2.3: Yolluk sistemi (Erü 2016). .....	15
Şekil 2.4: Döküme hazır kum kalıp (Erü 2016). .....	15
Şekil 2.5: Mekanik kum karıştırıcılar (Aran 2007).....	16
Şekil 2.6: Kalıp kumu sıkıştırma yöntemleri (Aran 2007).....	18
Şekil 2.7: Balçık-toprak kalıbın alt yarısının şablonla taranarak hazırlanması (Aran 2007). .....	19
Şekil 2.8: Çukur kalıp örnekleri (Ataçelik Döküm2016).....	20
Şekil 2.9: Çukur kalıplama (Docplayer2008). .....	20
Şekil 2.10: CO <sub>2</sub> yöntemi (Docplayer2008). .....	21
Şekil 2.11: Kabuk kalıba döküm yönteminin aşamaları (Aran 2007).....	24
Şekil 2.12: Vakumlu kalıplama yönteminin aşamaları (Aran 2007). .....	27
Şekil 2.13: Dolu kalıba döküm (Aran 2007).....	29
Şekil 2.14: Dolu kalıba döküm. Silindir gövdesi için kayıp köpük model.(a) Birbirine yapıştırılmış dört farklı bölüm. (b) Yolluk sistemli köpük kümesi ve döküm (ASM International 2009).....	30
Şekil 2.15: Dolu kalıba döküm. Döküm manifold ile kayıp köpük döküm için model (ASM International 2009). .....	31
Şekil 2.16: Gerçek savurma döküm ile boru döküm ekipmanı (Gülmez2010).....	32
Şekil 2.17: Yarı savurmalı döküm (Gülmez2010).....	33
Şekil 2.18: (a) Savurmalı döküm yöntemi – merkezkaç kuvveti metalin dönme ekseninden uzaklaşarak kalıp boşluklarına akmasına neden olur, (b) döküm parça (Gülmez2010).....	34
Şekil 2.19: Hassas döküm (ASM International 2009). .....	36
Şekil 2.20: Dereceli hassas döküm yöntemi (Aran 2007).....	36
Şekil 2.21: Seramik kabuklu hassas döküm yöntemi (Aran 2007). .....	37
Şekil 2.22: Alçı kalıba döküm (Güven 2014). .....	40
Şekil 2.23: Sıcak hazneli döküm çevrimi. 1) Kalıp kapalı ve piston geride iken erimiş metal hazneye dolar (Gülmez 2010). .....	41
Şekil 2.24: Sıcak hazneli döküm çevrimi: (2) zımba haznedeki metali kalıbın içine akmaya zorlar ve soğuma ve katılma sırasında basıncı sürdürür (Gülmez 2010).....	41
Şekil 2.25: Soğuk hazneli basınçlı döküm çevrimi. 1) Kalıp kapalı ve piston geride iken erimiş metal hazneye dökülür (Gülmez 2010). .....	42
Şekil 2.26: Soğuk hazneli basınçlı döküm çevrimi.2) Piston hareket ettirilerek metal kalıp boşluğuna sevke zorlanırken katılma sırasında basıncı sürdürülür (Gülmez 2010).....	42
Şekil 3.1: Metal kalıba gravite döküm yöntemi (Makinacı's Blok 2010).....	45
Şekil 3.2: Karşı basınçlı üretilmiş araba jantı (Makinacı's Blok 2010). .....	46
Şekil 3.3: Düşey sürekli döküm yöntemiyle üretilen malzemeler (Makinacı's Blok 2010).....	46
Şekil 3.4: Düşey sürekli döküm yöntemi (Erü2016).....	47

Şekil 3.5: Hassas döküm yöntemi (Makinacı's Blok 2010).....	47
Şekil 3.6: Sıvı presleme yöntemi (Makinacı's Blok 2010).....	48
Şekil 3.7: Thixhoforming yöntemi (Makinacı's Blok 2010). ....	49
Şekil 4.1: Gaz boşluğu-kofluk (Harran Üniversitesi 2016). ....	63
Şekil 4.2: Karınca-gözenek hatası (Harran Üniversitesi 2016).....	63
Şekil 4.3: Dart hatası (Harran Üniversitesi 2016).....	68
Şekil 4.4: Sıvı metalin kuma işleme (Harran Üniversitesi 2016).....	72
Şekil 4.5: Kum düşmesi sonucunda döküm yüzeyinde oluşan boşluk ve fazlalıklar (Harran Üniversitesi 2016).....	74
Şekil 4.6: Saçma hatalı döküm iş parçası (Harran Üniversitesi 2016).....	76
Şekil 4.7: Soğuk birleşme (Harran Üniversitesi 2016). ....	81
Şekil 4.8: Eksik kalma (Harran Üniversitesi 2016). ....	81
Şekil 4.9: Kaçıklık hatası (Harran Üniversitesi 2016). ....	83
Şekil 4.10: Çapaklı döküm (Harran Üniversitesi 2016).....	85
Şekil 4.11: Dökümde kalkmış maça (Meb 2011).....	88
Şekil 4.12: İş yüzeyinde cüruf ve çapak oluşumu (Harran Üniversitesi 2016).....	90
Şekil 4.13: Dış çöküntü      Şekil 4.14: İç çöküntü (Meb 2011). (Meb 2011).....	92
Şekil 4.15: Gerilme ve sonuçları (Meb 2011).....	93
Şekil 4.16: Çarpılma (Meb 2011).....	94
Şekil 4.17: Takviyeli çarpılmış plaka (Meb 2011). ....	95
Şekil 4.18: Eğri model ve düzgün iş (Meb 2011). ....	95
Şekil 5.1: Model biçimlendirme ilkeleri (Teknik Bilgi Hazinesi 2013). ....	98
Şekil 5.2: Model biçimlendirme ilkeleri (Teknik Bilgi Hazinesi 2013). ....	98
Şekil 5.3: Model biçimlendirme ilkeleri (Teknik Bilgi Hazinesi 2013). ....	99
Şekil 5.4: Model biçimlendirme ilkeleri (Teknik Bilgi Hazinesi 2013). ....	99
Şekil 5.5: Model biçimlendirme ilkeleri (Teknik Bilgi Hazinesi 2013). ....	100
Şekil 5.6: Model biçimlendirme ilkeleri (Teknik Bilgi Hazinesi 2013). ....	100
Şekil 5.7: Model biçimlendirme ilkeleri (Teknik Bilgi Hazinesi 2013). ....	101
Şekil 5.9: Model biçimlendirme ilkeleri (Teknik Bilgi Hazinesi 2013). ....	101
Şekil 5.10: Model biçimlendirme ilkeleri (Teknik Bilgi Hazinesi 2013). ....	102
Şekil 5.11: Model biçimlendirme ilkeleri (Teknik Bilgi Hazinesi 2013). ....	102
Şekil 5.12: Model biçimlendirme ilkeleri (Teknik Bilgi Hazinesi 2013). ....	103
Şekil 5.13: Model Biçimlendirme İlkeleri (Teknik Bilgi Hazinesi 2013). ....	103
Şekil 5.14: Model biçimlendirme ilkeleri (Teknik Bilgi Hazinesi 2013). ....	104
Şekil 5.15: Model biçimlendirme ilkeleri (Teknik Bilgi Hazinesi 2013). ....	104
Şekil 5.16: Model biçimlendirme ilkeleri (Teknik Bilgi Hazinesi 2013). ....	105
Şekil 5.17: Model biçimlendirme ilkeleri (Teknik Bilgi Hazinesi 2013). ....	105
Şekil 5.18: Model biçimlendirme ilkeleri (Teknik Bilgi Hazinesi 2013). ....	106
Şekil 5.19: Model biçimlendirme ilkeleri (Teknik Bilgi Hazinesi 2013). ....	106
Şekil 5.20: Model biçimlendirme ilkeleri (Teknik Bilgi Hazinesi 2013). ....	107
Şekil 5.21: Model biçimlendirme ilkeleri (Teknik Bilgi Hazinesi 2013). ....	107
Şekil 5.22: Model biçimlendirme ilkeleri (Teknik Bilgi Hazinesi 2013). ....	108
Şekil 5.23: Model biçimlendirme ilkeleri (Teknik Bilgi Hazinesi 2013). ....	108
Şekil 5.24: Model biçimlendirme ilkeleri (Teknik Bilgi Hazinesi 2013). ....	109
Şekil 5.25: Model biçimlendirme ilkeleri (Teknik Bilgi Hazinesi 2013). ....	109
Şekil 5.26: Model biçimlendirme ilkeleri (Teknik Bilgi Hazinesi 2013). ....	110
Şekil 5.27: Model biçimlendirme ilkeleri (Teknik Bilgi Hazinesi 2013). ....	110
Şekil 5.28: Model biçimlendirme ilkeleri (Teknik Bilgi Hazinesi 2013). ....	111
Şekil 5.29: Model biçimlendirme ilkeleri (Teknik Bilgi Hazinesi 2013). ....	111
Şekil 5.30: Model biçimlendirme ilkeleri (Teknik Bilgi Hazinesi 2013). ....	112

Şekil 5.31: Model biçimlendirme ilkeleri (Teknik Bilgi Hazinesi 2013). .....	112
Şekil 5.32: Model biçimlendirme ilkeleri (Teknik Bilgi Hazinesi 2013). .....	113
Şekil 5.33: Model biçimlendirme ilkeleri (Teknik Bilgi Hazinesi 2013). .....	113
Şekil 5.34: Model biçimlendirme ilkeleri (Teknik Bilgi Hazinesi 2013). .....	114
Şekil 5.35: Model biçimlendirme ilkeleri (Teknik Bilgi Hazinesi 2013). .....	114
Şekil 5.36: Model biçimlendirme ilkeleri (Teknik Bilgi Hazinesi 2013). .....	115
Şekil 6.1: Katılaşmada sıcaklık ve serbest enerji dengesi (Callister ve Retwisch 2005).....	117
Şekil 6.2: Soğuma sırasında sıcaklık değerinin tane oluşumuna etkisi (Aran 2007).....	118
Şekil 6.3: Katılaşma sırasında oluşumlar (a) çekirdeklenme, (b), (c) dendritik büyümeyle (d) katılaşma yüzeylerinin birleşmesiyle oluşan taneler ve tane sınırlarını göstermektedir (Aran 2007). .....	119
Şekil 6.4: Kalıp içinde katılaşmada farklı bölgelerde oluşan tane biçimleri (Aran 2007). .....	120
Şekil 7.1: Potalı ocakların üç türü: (a) kaldırmalı pota, (b) erimiş metalin kepçeyle alınması gereken sabit tip,ve (c) devrilen potalı ocak (Gülmez 2010).....	122
Şekil 7.2: Çelik üretimi için elektrik ark ocağı (Gülmez 2010). .....	124
Şekil 7.3: Direnç ocağı (Aran 2007). .....	125
Şekil 7.4: Endüksiyon ocağı (Gülmez 2010). .....	126
Şekil 7.5: Kupol ocağının kesiti (Gülmez2010).....	130
Şekil 8.1: Tasarım sürecinin yinelenmeli modeli (ASM International 2009).....	144
Şekil 8.2: Geleneksel döküm tasarım yöntemi (ASM International 2009).....	146
Şekil 8.3: Basit yapılandırılmış ekip yaklaşımı (ASM International 2009).....	147

## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

Çizelge 3.1: En önemli magnezyum alaşımlarının içerikleri (Kaçar ve Öztürk 2012).....	52
Çizelge 3.2: Çeşitli bronz ve alaşım elemanlarının erime sıcaklıkları.....	56

## SEMBOL LİSTESİ

<b>M.Ö.</b>	: Milattan önce
<b>M.S.</b>	: Milattan sonra
<b>V</b>	: Vanadium
<b>Nb</b>	: Niyobyum
<b>Ti</b>	: Titanyum
<b>ABD</b>	: Amerika Birleşik Devletleri
<b>CO<sub>2</sub></b>	: Karbondioksit
<b>NaSiO<sub>2</sub></b>	: Sodyum silikat
<b>C Yöntemi</b>	: Croning yöntemi
<b>C<sup>0</sup></b>	: Derece, santigrat
<b>CaSO<sub>4</sub></b>	: Kalsiyum sülfat-alçı
<b>Al</b>	: Alüminyum
<b>Mg</b>	: Magnezyum
<b>Cu</b>	: Bakır
<b>Zr</b>	: Zirkonyum
<b>Ni</b>	: Nikel
<b>Zn</b>	: Çinko
<b>Fe<sub>3</sub>C</b>	: Sementit, demir 3 karbür
<b>Si</b>	: Silisyum
<b>Mn</b>	: Mangan
<b>B</b>	: Bor
<b>Cr</b>	: Krom
<b>Co</b>	: Kobalt
<b>Mo</b>	: Molibden
<b>N</b>	: Azot
<b>W</b>	: Wolfram (Tungsten)
<b>MgO</b>	: Magnezyum oksit
<b>SiO<sub>2</sub></b>	: Silisyum di oksit

## ÖNSÖZ

Madenlerin ve metallerin insan yaşamında yer alması ile birlikte kullanım amaçlarına göre şekillendirilmesi de belli başlı uğraşlardan bir alanı teşkil etmiştir.

Sıcak şekillendirme, soğuk şekillendirme talaşlı imalat, döküm tekniği ve şekillendirme de amacına uygun şekil verme yöntemlerinden döküm ile şekillendirme oldukça büyük bir üretim yüzdesini kapsar.

Döküm tekniği başlı başına bir dal, branş olarak M.Ö. 3500 yıllarına dek uzanan tarihsel bir süreç izlemektedir.

Dökümcülükle birlikte dökümün sorunları da ortaya çıkmış ve insan zekası her sorunda yeni ve farklı çözümler üreterek engelleri aşmıştır. Sanayi devrimi ve bilgi çağı ise sorunların aşılmasında, üretim tekniklerinin gelişmesinde çığır açmıştır. Döküm hatalarını oluşturan çeşitli etmenler birer birer ve sistematik olarak ortadan kaldırılarak daha kaliteli, seri, ucuz, yüksek mukavemetli malzemelerin üretimi gerçekleştirilmiştir.

Kalıp hataları, kalıp malzemelerinden, model maça hazırlanmasından doğan hatalar artık hemen hemen %100 bir çoğunlukla ön görülebilmekte, daha baştan hatalı döküm ve ürün engellenebilmektedir.

Buna rağmen konuya gereken önemin yeterince verildiği söylenemez. Dökümcülük ve döküm tekniği ile metal şekillendirilmesinde ülkemizde teknisyen, tekniker, lisans ve yüksek lisans düzeyinde eğitimin tam ve doyurucu olduğu söylenemez. Yeterli olmamakla birlikte konunun ilgililerine yol gösterici ve bilgilendirici olduğuna inandığımız bu çalışmanın yararlı olacağını ümit ediyorum.

Bu çalışmayı yapmakta beni yüreklendiren danışman ve tez hocam sayın Doç. Dr. Özler KARAKAŞ'a, katkıları ile bu tezi hazırlamamda yardımcı olan PAÜ'nün diğer değerli öğretim üyeleri ve sayın yöneticilerine şükranlarımı sunuyorum.

Ülkemize ve bu alanda çalışanlara yararlı olması dileklerle.



# 1. DÖKÜMCÜLÜK VE DÖKÜM TEKNİĞİNE GİRİŞ

Metallere şekil vermede döküm tekniği diğer imalat ve şekil verme yöntemlerine göre gerek üretim maliyeti ve gerekse üretim zamanı olarak açık ara avantaj sağlamaktadır. Döküm yöntemleri bu nedenle şekillendirmede rakipsizdir.

Döküm sektöründe üretilen ürün çeşitliliği, maliyeti, kalitesi toplumların kalkınmışlık, bilimsel gelişmişlik ve eğitim düzeyleriyle doğru orantılı bir gelişme göstermektedir. Gelişmekte olan toplumlarda döküm tekniği ile üretilen ürünler aşağıdaki alanlarda yoğunlaşmaktadır. Bu alanlar:

Ulaştırma, konut, tarım aletleri, kent alt yapısı, nihayetinde basit endüstriyel ürünler ve bazı özel üretimlerdir. Endüstrileşme olgusuna koşut döküm sektörü çıktılarının alt yapılarından daha çok ara mal üreten ana metal sanayi, kimya, madencilik ve enerji vb. sanayi sektörleri yanı sıra elektrikli-elektriksiz makine üretimi, madeni eşya, otomotiv endüstrisi, gemi gibi yatırım malları ile dayanıklı tüketim malları üreten sanayi sektörleri tarafından yıllara göre tür ve niceliği artarak talep edilmeleri gündemdedir.

Anılan bu özellikleri nedeniyle döküm sektörü kalkınma, sanayileşme, ekonomik ve toplumsal gelişmişliğin ölçütü durumunda önemli bir sektördür.

## 1.1 Döküm Tekniği ve Tarihçesi

İnsanlık tarihinde M.Ö. 6000 yıllarında insanların metalleri tanınması ile birlikte dökümcülükle metal şekillendirilmesine yaklaşık 7000 yıl önce başlanılmıştır.

Bu çağlarda altın, gümüş, bronz gibi metal ve alaşımlarının şekillendirilebilme kolaylıklarından tas, bardak, kupa gibi basit ev gereçlerinin yapımında faydalanılmıştır.

Altın, gümüş gibi tek başına saf olarak bulunabilen metallerin yanında bakırın yeşil renkli karbonat mineralleri ergitilerek elde edilmesi ile ilgili M.Ö. 6000 yıllarında Mezopotamya’da önemli ipuçları bulunmuştur. Bu çağlarda Mezopotamya, Babil, Mısır, Hint ve Çin kültürlerinde tarım dışında yeni zanaatların ortaya çıktığı tespit edilmiştir (Ataçelik Döküm 2016).

Demir mineralleri bakır çağından beri bilinmesine rağmen yalnızca meteoritlerden yararlanılmıştır. Ancak bronz çağı kültürlerinin yok olmasının ardından demir çağı yavaş yavaş tarih sahnesine çıkmaya başlamıştır. M.Ö. 2000’lerden sonra Hititlerde demir metalürjisinde bir tekelleşme görülmeye başlanmıştır. Demirden yararlanarak bir çok silah yaptıkları bilinen Hitit’liler bu sayede askeri ve teknolojik üstünlükleriyle imparatorluk sınırlarını hızla genişletmişlerdir. Hititler bu sayede yüksek nitelikli demir işçiliğiyle uğraşan ilk uygarlık olarak uygarlık tarihinde ün kazanmışlardır.

Hititler kurmuş oldukları demir tekeli devlet gözetiminde ticaretini yaparak Asurlular’a demir ihraç etmişlerdir.

Bu dönemlerde demir işleme sanatı demir cevherlerinin katı halde redüksiyon ve yüksek sıcaklıkta dövme şeklinde şekillendirme işlemlerine dayanmaktadır. M.Ö. 1400’lerden sonra ergitme yöntemi ile demir üretimi Kafkaslardaki efsanevi demirci halk tarafından gerçekleştirilmiş ve geliştirilmiştir. Bu Kafkas toplulukları Hititlerin buyruğunda yaşayan, Kafkas dağlarında bol miktarda bulunan bakır ve demir cevherlerinin bulunduğu yerlerde yaşayan kavimlerdir. Kafkas yöresinde o tarihlere denk gelen dökümhane kalıntıları bulgularına rastlanmıştır.

Demir döküm yöntemlerinin M.Ö. 300’lerde Çin’de geliştirildiği tahmin edilmektedir.

Çin’de M.Ö. 200 ile M.S. 200 yılları arasında KHAN hanedanı döneminde 1400 (°C)’ın üzerinde sıcaklıklara kadar çıkabilen büyük demir maden ocaklarında ergimiş demir kalıplara dökülerek biçimlendirmede başarılı olduğu tahmin edilmektedir.

M.Ö. 800 ile 500 yıllarına ait olduğu anlaşılan Avusturya'nın Noricum olarak bilinen yöresinde mezar kalıntılarında bronz ve demir eşyaların bulunması bu yörenin o çağlarda demir merkezi olduğunu kanıtlamaktadır.

Demir cevherinin Anadolu'dan çıkarak klasik ticaret yolu olan balkanlar üzerinden Avrupa'ya demir fırınları ve işçiliğiyle beraber ulaştığı anlaşılmaktadır (Ataçelik Döküm 2013).

## **1.2 Anadolu'da Dökümcülüğün Tarihçesi**

Kadim Anadolu tarihi tüm kültürlerin beşiği olduğu gibi, aynı zamanda dökümcülükte de en eski olma özelliğini korumuştur.

Konya Çumra Çatalhöyük kazılarında M.Ö. 6000 yıllarında Anadolu'da madencilik yapıldığı kesin bulgularıyla tespit edilmiştir.

Tokat Erbaa'nın Gümüşlük yöresinde yapılan araştırma ve sondajlar dağlardaki galerilerde M.Ö. 3800 yıllarına ait ahşap taşıma ve kazma el aletlerine rast gelinmiştir. Yine Kütahya Gümüşköy Aktepe yöresinde M.Ö. 2400 yıllarında galerilerde madenciliğin çıra ışığında yapıldığı belirlenmiştir.

Alacahöyük'te 1937 yılında yapılan kazılarda %9÷17 kalay içeren M.Ö. 2400'lere ait bronz parçalar bulunmuştur. M.Ö. 1750-1450 yıllarında Hititlerde bronz ve bakırın bol miktarda kullanıldığı tespit edilirken yanı sıra aynı yıllarda demir ticaretinin de yapıldığı tarihi kayıtlardan anlaşılmıştır.

Ankara Karaali, Tokat yöresinde, Amasya Gümüşköy bucağında yapılan kazılarda 70.000 ton ile 1.500.000,- ton arasında değişen Cüruf haznelerine rast gelinmiştir. Bu cüruflar üzerinde yapılan C14 testleriyle M.Ö. 1880 yıllarında çok iyi döküm yapıldığı belirlenmiştir. Urartuların ise M.Ö. 900-600 yıllarında kuzey İtalya'daki Etrüsk'lere, Yunanistan'a tunçtan dökülmüş ürünler ihraç ettikleri tarihi belgelerden tespit edilmiştir.

M.Ö. 700-550 yıllarında ise Anadolu'da yaşayan Frigler döneminde döküm tekniğinin çok yüksek düzeyde olduğu bilinmektedir (Ataçelik Döküm 2016).

### 1.3 Osmanlı'larda Döküm ve Metallurji Teknolojisinin Gelişimi

Yukarıda anlatılanlardan açıkça anlaşılacağı gibi metallurjinin ilk ortaya çıktığı bölge Anadolu'da ve bu bölge ile iç içe olan yörelerde geliştiği anlaşılmaktadır. Bu anlamda Türklerinde metallürji ile ilgilenen ilk uluslardan biri olduğu anlaşılmaktadır.

Anadolu'da Türk uygarlıklarına gelindiğinde metallurji ve döküm tekniğinin 15. asırdagelişme gösterdiği görülmektedir. En önemli gelişmenin M.S. 1450 yılında Fatih Sultan Mehmet döneminde mühendis Saruca Bey ile mimar Muslihiddin Hoca ve o sırada Bizans'ta çalışan,Saruca Bey'e ücret yetersizliği nedeniyle başvuran Macar asıllı top dökümcüsü ORBAN'ın yardımları ile İstanbul tophane mevkiinde ilk top döküm tesisinde çağının en büyük toplarının dökümüne başlanmıştır. Her ne kadar top döküm tesisi için geliştirilse de bu tesis aynı anda diğer askeri araçların üretiminde de kullanılmıştır.

II. Beyazıt zamanında ise tophane genişletilerek kapasitesi arttırılmıştır.

Kanuni Sultan Süleyman tophaneyi yıkarak yerine daha büyük ve daha modern bir tophanenin kurulmasını gerçekleştirmiştir.

Buradaki döküm tekniği ve ayrıntılarını 1640'lı yıllarda yazılan Evliya çelebi Seyahatnamesinden izlemek mümkündür.

Fransız elçisine tercüman olarak gelen Baron de Tott'un 1755 yılındaki çalışmaları ile tophanenin ıslahı gerçekleştirilmiştir. Hatta 1770 yılında tekrar İstanbul'a gelen de Tott, 1773 yılında Mühendishane-i Bahr-i Hümayun Topçu Okulunun kurulmasıyla bugünün İstanbul Teknik Üniversitesinin kurulmasına ön ayak olmuştur. Osmanlı İmparatorluğunun tek ve büyük dökümhanesi TOPHANE idi. Burada resimhane, numunehane, muayene, tüfekhane, kundakhane, tavhane, demirhane, çarkhane, işleme atölyesi, nakkaşhane, baskıhane gibi önemli bölümler bulunmaktaydı.

1862 yılında gelen İngiliz elçisi yazdığı kitabında da Tophanede yıllık 300 top döküldüğünü belirtmektedir. 1835 yılında ölen Hoca İshak Efendinin 127 sayfalık metin, 60 sayfa teknik resim çizimli teknik kitabında tamamı top dökümüne

ait yakın çağın teknolojik bilgi ve çalışmaları bulunmaktadır. Mühendishane-i Berr-i Hümayunda hocalık yapan, modern döküm ve sanayi konularında ders veren Hoca İshak Efendinin bu kitabının bir sureti günümüzde askeri müze koleksiyonunda bulunmaktadır.

Nisan 1868’de dökümcüler şirketi kurularak ülkedeki döküm işleri detaylı bir şekilde takip edilmiştir (Tüdoksad2013).

#### **1.4 Avrupa’da Döküm Tekniği, Tarihçesi ve Osmanlıya Etkileri**

İstanbul’un fethi ve 1492’de Endülüs Emevi (Beni-Ahmer) Devletinin yıkılması ve Granada kütüphanesindeki kitapların Avrupalıların eline geçmesi ile Avrupa’da Rönesans ve Reform hareketleri başlamış Yeniçağ ile birlikte bilim ve teknik hızla bu toplumların yaşamında yer etmiştir. Bu dönem fizik, kimya ve mekanik konularının da hızla geliştiği bir devirdir. 1300’lü yıllarda Avrupa’da gelişmeye başlayan demir metalürjisi dövme yolu ile, çelik üretimi ve dökümcülük 1600’lü yıllardan sonra çok hızlı bir gelişme göstermiştir. Örneğin İngiliz David Ramsey 1630’lu yıllarda sert demirin yumuşatılması adlı bir patentin sahibi olmuştur. 1720 yılında ünlü Fransız bilim adamı ve metallürjist R.A.F. Reamürtemper dökme demirin öncüsü olmuştur. İlkeleri 1712’de Newcomen tarafından ortaya atılan buhar makinesi 1770 yılında James Watt tarafından başarı ile imal edilmiş ve sanayi devriminde buhar makinesi kullanıma sokulmuştur. Bu durum Avrupa’da sanayinin gelişmesini hızlandırmış, özellikle 1850’de Bessemer Thomas Konvertörleri ile ve ardından Siemens Martin ile elektrik ark fırınları sayesinde büyük kitleler halinde ham demir veya hurdadan doğrudan doğruya çelik üretiminin sağlandığı metalürji ve döküm tekniğinin en yüksek düzeyde olmasını sağlamışlardır.

Bu dönemde bir yandan askeri amaçlı ürünlerde gelişmeler ortaya çıkarken, diğer yandan ulaşım, enerji, yapı, konstrüksiyon gibi temel sanayi dallarında da demir çelik malzeme kullanımının arttığı görülmektedir.

Bir yandan haddeleme yöntemiyle üretim diğer yandan belirli şekil ve geometrik ürün bazında yapılara sahip mamullerinde döküm yoluyla üretilmesi dönemine girilmiştir.

Avrupa'daki bu hızlı gelişmelerin yanında Osmanlı'da cılız gelişmelere rastlanmaktadır. Bir yandan Ergani bakır madenleri çalıştırılmaya, diğer yandan demir malzeme üretimine geçilmiştir. Osmanlı İmparatorluğunda demir madenleri demir cevherlerinin bulunduğu yöredeki demirciler tarafından işlenmekte ve o günkü teknolojiye bağlı olarak dövme demir ve sertleştirilmiş çelik malzemeleri üretiminin yapıldığı bilinmektedir. Demir madenlerinde ayrıca devlet adına bir nazır bulundurulup, devlet ihtiyacı olan demir malzemeleri ücreti karşılığında alma yolu izlenmiştir. Özellikle Tophane'de dökülen büyük boyutlu topların dökümünde kullanılmak üzere nazır gözetiminde, yerinde dökülerek gerekli yerlere sevk edilirdi.

Kığı yöresi madenlerinden üretilen demir güllerinin önce Trabzon'a, oradan da gemilerle nakledildiği resmi yazışmalarda mevcuttur.

Avrupa'daki teknolojik gelişmeler karşısında Osmanlı İmparatorluğunda baş gösteren Islahat hareketleri sonunda öncelikle askeri malzemeler üzerinde çağın modern teknolojisini kullanabilen demir çelik imalat ve üretim tesislerine ihtiyaç duyulmuştur. Bu açıdan İstanbul Hasköy yöresinde Güllühane (Humbarhane) kurulmasıyla Zeytinburnu'nda baruthane yakınlarında demir madeni çıkarılan bölgelerde üretilen piklerle çalışmak üzere demir fabrikasının kurulması izlemiştir.

1839 Tanzimat Fermanının okunmasından sonra Zeytinburnu'ndaki fabrikanın büyütülmesi söz konusu olmuştur. 1848'de bu fabrikalarda üretilen malzemelerle çelik gövdeli gemiler yapılabilmıştır. 1900 yıllarının başında özellikle gemi yapım çalışmalarındaki gelişmeler için Camialtı Tersanesinde demir ve döküm tesisleri inşa edilmiştir. Tesiste 2 adet 5 tonluk Siemens Martin fırını ile 1 adet döner fırın demir çelik dökümü için kullanılmıştır. Mondros Anlaşması gereği tersaneler ve askeri amaçlı fabrikalar kapatılmıştır. Bunun sonucu olarak Galata ve Hasköy arasında Kalafatçılar bölgeleri oluşmuş ve döküm sanayi çok ilkel koşullarda buralarda sürdürülmeye çalışılmıştır (Tüdoksad 2013).

## 1.5 Döküm Sanayinin Gelişimi

### 1.5.1 Döküm Sanayisinin Dünyadaki Gelişimi

Toplumların ekonomik yapılarıyla değişim gösteren döküm sektöründe, sektör ürünlerinin miktarı, cinsi, kaliteleri, ekonomik yapılarıyla değişim göstermektedir. Günümüzde gelişmişlik kriterlerinden olan kişi başına tüketilen elektrik enerjisi miktarının yanında kişi başına üretilen metal niceliği bir diğer kriterdir.

Gelişmekte ve sanayileşmekte olan toplumlarda öncelikle döküm ürünlerinin konut, ulaştırma, kent altyapıları ve tarım aletleri alanlarında yoğunlaştığı görülür. Endüstri açısından gelişmiş toplumların milli gelir düzeylerinin artmış olduğu, hatta “refah toplumu” olarak adlandırıldıkları bir gerçektir. Sanayileşme olgusuna paralel olarak ta döküm sektörü ürünlerinin alt yapılardan daha çok ara malı üreten (enerji, madencilik, kimya, ana metal sanayisi gibi) sanayi sektörleri ile özellikle (madeni eşya, elektrikli ve elektriksiz makine imalatı, otomotiv, gemi gibi) yatırım malları ve dayanıklı tüketim malı üreten sanayi sektörleri tarafından cins ve miktarı artarak talep edilmeleri söz konusudur. 1950-1973 döneminde dünyadaki sanayi gelişimine paralel olarak (doğal olarak endüstriyel ülkelerde olmak üzere) döküm sektörü ürünlerinde daha fazla, daha büyük, daha hızlı, daha kaliteli üretim düşüncesi döküm teknolojisinde çok önemli gelişmeleri beraberinde getirmiştir. Tabiki ileri teknolojilerin uygulanması sonucunda dökümhaneler beceri ve görgüye dayalı işyerlerinden fabrika hatta fabrikalar şeklinde oluşan tesisler haline gelmiştir. Döküm tesislerinde kullanılan teknolojik yapılar döküm ürünlerinin niceliğini, geometrisini, boyut hassasiyetini, üretim verimliliğini etkileyen pek çok etmeni beraberinde getirdiği için mühendislik hizmetlerinin artışını sağlamıştır.

Metalik malzemelerden döküm yoluyla üretilen bir üründe kullanılan ve metal veya alaşımının dökülebilirliği, işlenebilirliği, kaynaklanabilirliği, yüzeyinin metal veya metalik olmayan malzemelerle kaplanabilirliği gibi mühendislik özelliklerinin yanı sıra ürünün dayanımı, tokluğu, ısıya, korozyona dayanımı gibi özelliklerde tamamıyla döküm mikro yapısı ve malzemenin iç yapısına (metalografik yapı) göre oluşmaktadır. Belirli kimyasal bileşimi sahip metal veya alaşımlarının

döküm sonrası oluşacak makro ve mikro yapılarının istenen özellikleri ortaya çıkarılabilmesi (bileşim, ergitme tekniği, rafinasyon, gaz giderme veya deoksidasyon, inokülasyon, döküm sıcaklığı, katılaşma kinetiği gibi) metalürjik faktörlerinin hassas ve çabuk kontrollerini gerektirir. Bu faktörleri etkileyen model, kalıp, maça, döküm sıyırma, temizleme ve ısı işlemler gibi proseslerdeki değişimlerinde çok yakından izlenmesi ve kontrolleri gerekli olmaktadır.

Ancak 1973-1979 petrol bunalımları sonucu (enerji krizi) dünya ekonomisinde hiç beklenmeyen duraklama üretim ve tüketim azalmalarının meydana geldiği dönemde ortaya çıkan sanayi yönetimi yüksek verimlilik, enerji tutumluluğu, maliyet düşürücü yönlerde yoğunlaşmıştır. 1950-1970 döneminin hızlı gelişimi boyunca malzeme konuları başta olmak üzere elektronik, otomatik kontrol ve bilgisayar teknolojileri üzerinde yoğunlaşan ar-ge çalışmalarının sonuçları özellikle ileri düzeyde endüstrileşen ülkeler tarafından teknolojiye çok çabuk biçimde aktarılmaya başlanmıştır. Diğer yandan çalışma koşullarındaki değişimler, ücret artışları, sosyal güvenlik ve çevresel etkiler dolayısıyla beliren sorunlar yeni üretim ve yöntem felsefelerinin doğmasında etken olmuştur.

Özellikle 1970'li yıllar boyunca çok ileri teknolojiler kullanan endüstriyel üretimin, daha çok ihracata dönük biçimde düzenlendiği ülkelerde yüksek verimlilik, enerji tutumluluğu, maliyet minimizasyonu ve çevre korumada en yüksek düzeyde başarıldığı görülmüştür. Bu gelişmelerde bilgisayar destek ve kontrollü planlama, üretim, kalite kontrol ve satışa kadar varan zincir dizisinde elde edilen başarılı sonuçların daha fazla geliştirilmesi en önemli etmenlerdendir.

Bu gelişme süreci incelendiğinde yönetim felsefelerinde önemli değişmelerin olduğu belirlenmektedir. Buradaki değişimler sıfır hatalı, sıfır stok ilkesini getiren "yalın üretim" veya "esnek üretim" adı verilen müşteri-tüketici isteklerini ön planda tutan döküm sektörünü en yakından ilgilendirmektedir

Zira çeşitli sanayilere ara malı sunan döküm sektöründen talepler, ürünlerde daha dar limite, toleranslar, bileşimler, boyutlar, yüzey düzgünlüğü yanı sıra içyapı mükemmelliği üzerinde yoğunlaşmaktadır. Malzemeler açısından da daha hafif sanayi ürünlerinin üretilme sine yönelik olarak yüksek dayanımlı, fakat çok soğuk veya yüksek sıcaklıklarda mukavemetin yanı sıra tok, esnek, kaynaklanabilme



özellikleri geliştirilmiş, korozyon ve aşınmaya dayanım değerleri yükseltilmiş metalürjik ürünler önem arz etmeye başlamıştır. Bu gelişmelere koşut olarak döküm sektöründe, üretimde entegrasyon, otomasyon kalite güvencesi, maliyet minimizasyonu konuları ağırlık kazanmıştır. Ancak metalürjik açıdan kalite geliştirme çalışmaları da çok hızlı süregelmiştir. Bu gelişmeler sayesinde, örneğin dökme demirlerde lamel grafitli dökme demir ve temper döküm demir malzemeler yerine küresel grafitli dökme demirlere doğru yönelinmiştir.

Küresel grafitli dökme demirler 1950'lerden sonra endüstride kullanılmaya başlanmıştır. Bu malzemede bileşim, modülleştirme, inokülasyon ısıtma işlem proseslerindeki farklı uygulamalar ile yepyeni özelliklerde malzemelerin günümüzde üretimine ağırlık verildiği görülmektedir. Çelik dökümlerde geleneksel sade karbonlu çelik dökümlerin yanı sıra az alaşımlı, ısıtma işlem uygulanabilir ve mühendislik özellikleri üstün seviyelere çıkarılan tipler ile korozyona, aşınmaya dayanıklı, yüksek ve düşük sıcaklıklar da mühendislik özellikleri geliştirilmiş yüksek alaşıma örneğin, paslanmaz ve ısıya dayanıklı çelikler gibi çelik döküm malzemeleri daha yoğun kullanılabilir hale getirilmiştir. Özellikle 1970'lerden sonra; sade karbonlu ve az alaşımlı çelik döküm malzemeler yerine kaynak edilebilir normalize edilmiş küçük taneli ve yüksek akma dayanımlı çok düşük sıcaklıkta tokluğu yüksek, mukavemetli, az alaşımlı, düşük karbonlu ve V (vanadyum), Nb (niyobyum), Ti (titanyum) gibi elementlerle çok az miktarda alaşımlandırılmış mikro alaşımlı çelik döküm malzemelerin geliştirildiği izlenmektedir.

Demir ve çelik döküm üretiminin azalmasında kaliteye yöneliminin yanı sıra Sovyetler Birliği ve Doğu Bloku ülkelerindeki siyasal ve ekonomik dalgalanmaların da etkin olduğu unutulmamalıdır. Bu değişim sürecinde "kalite kontrol" olarak algılanan üretim sonrası hatalı ürünleri ayıklamayı hedefleyen sistem; önceleri kalite çemberleri düşüncesiyle başlayıp, proses kontrolü ile birleştirilen bu yöntem daha sonra da bu birleşmeler toplam kalite kontrol sistemi şeklinde uygulanmaya başlanmıştır. Günümüzde ise tüm ülkeler için hatta serbest piyasa ekonomisinin vazgeçilmez üretim felsefesi olarak benimsenen toplam kalite güvencesi veya "toplam kalite yönetimi" sanayiye 21. yy'a taşımaktadır.

Bilgisayar teknolojisi de artık günümüzde dökümcülük sektöründe yerini almıştır. Masaüstü dökümcülüğü olarak tanımlanan yöntemle dökülecek olan parça bilgisayar ortamında şekillendirilmekte, parçanın döküm aşamasında karşılaşıcağı ısı gradientleri (değişimleri), gerilmeler, çekilmeler, simule edilebilmekte ve daha parça ortaya çıkmadan oluşabilecek arızalar giderilmekte ve parça biçimlendirmesi geliştirilebilmektedir. Bu yönetim felsefesi tüketiciyi yani insanın yaşam standardının geliştirilmesinde kendi isteklerini ön plana çıkaran sürekli gelişmeyi sağlayan, hem üreten hem de tüketen insanın düşünsel yönden kendini yenilemesini hedefleyen bir model içermektedir. Bu modelde kaynak kullanımı, ürün çeşitlenmesi, üstün kalite, düşük maliyet ve belki de en önemlisi çevreye saygı unsurları bir arada sanayiye biçim verecek tarzda organize edilebilmektedir. Böylece, bu gelişmenin ışığı altında gerek yönetimde gerekse üretimde yer alan insanın 21. yy.'a hazırlanmasında çok önemlidir.

Endüstrinin ekonomik gelişmeyi yakından ilgilendiren yatırım malı ve dayanıklı tüketim malı üreten sanayilerin ana girdilerini oluşturan başta demir çelik ve demir dışı metaller döküm sanayi üretim yöntemlerinin de yukarıda açıklanan özellikler doğrultusunda kendisini yenilemeye çalışması gerekmektedir (Tüdoksad 2013).

### **1.5.2 Dünyada Döküm Üretimi**

2015 yılında Modern Casting dergisi tarafından yapılan Dünya Döküm Sanayi 49. Sayım sonuçlarına göre; 2014 yılında dünyada bir önceki yıla göre yüzde 2,3 artışla 103,6 milyon ton döküm üretimi gerçekleştirilmiştir. Dünyada mevcut 34.090 dökümhanede üretilen dökümün parasal karşılığı yaklaşık 200 milyar dolar, döküm sektöründe çalışan kişi sayısı yaklaşık 2 milyon civarındadır. Dünya döküm üretiminde ilk on sıradaki ülkeler; Çin (46,2 mt), ABD (10,47 mt), Hindistan (10 mt), Japonya (5,5 mt), Almanya (5,2 mt), Rusya (4,2 mt), Brezilya (2,74 mt), G. Kore (2,63 mt), İtalya (2 mt) ve Türkiye (1,75 mt)'dur. 2014 yılında Çin ve ABD, dünya döküm üretiminin yüzde 55'ini, ilk 10 döküm üreticisi ülke de yüzde 88'ini gerçekleştirmiştir. Dünya döküm üretiminin yüzde 46'sı pik döküm, yaklaşık dörtte biri sfero döküm, yüzde 11'i çelik döküm, yüzde 16'sı demir dışı dökümlerden

oluşmaktadır. Türkiye, 2014 yılında 888 dökümhanesi ve 1 milyon 750 bin tonluk döküm üretimiyle Avrupa'da 3. ve dünyada 10. sırada yer almıştır. Döküm sektöründe 4 milyar dolarlık katma değer yaratan Türkiye'nin döküm üretiminin yüzde 37'si pik döküm, yüzde 34' sfero döküm, yüzde 8'i elik döküm, yüzde 17'si alüminyum döküm yüzde 2,9'u da diğer demir dışı dökümlerden oluşmuştur. Bu sektörümüzde 20.000 kişi çalışmaktadır (Afs2015).

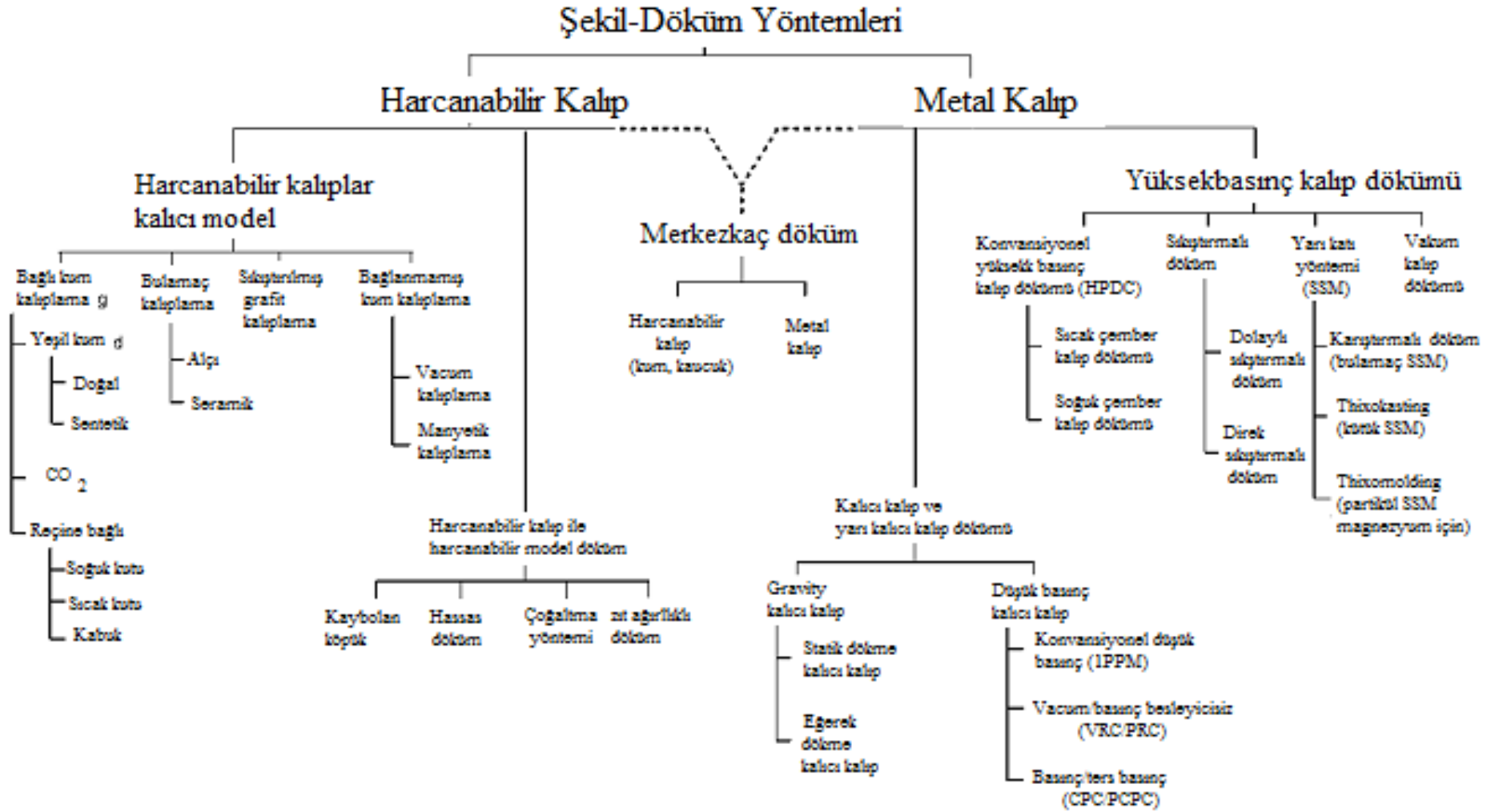
## 2. DÖKÜM YÖNTEMLERİ

En eski imalat yöntemlerinden biri olan döküm, şekillendirilmiş formun şekil ve boyutlarına göre düzenlenmiş bir kalıp boşluğuna eritilmiş metal dökülmesini içerir. Şekil döküm yöntemleri, Şekil 2.1'de gösterildiği gibi birkaç geniş kategoriye ayrılabilir. Ana kategoriler şunlardır:

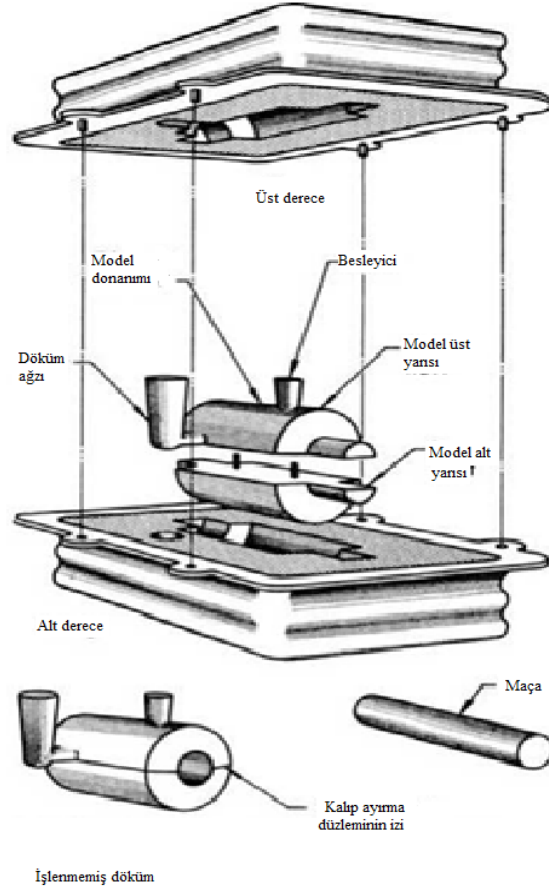
- \* Kalıcı modellerle harcanabilen kalıplar
- \* Harcanabilir modellerle harcanabilen kalıplar
- \* Metal veya kalıcı kalıp yöntemleri

Harcanabilir bir kalıp durumunda, yapışmış kum veya diğer gevşek granül kalıp malzemedен yapılmış, modeller kum dökümünde tipik olduğu gibi kalıcı olabilir veya kayıp köpükte ve hassas dökümünde olduğu gibi harcanabilir. Modeller kalıcı olduğu zaman kalıp, kalıcı modelin geri çekilmesine izin vermek için iki veya daha fazla parçaya ayrılabilir olmalıdır (Şekil 2.2). Modelin konik uçları, kum kalıbından kısıtlama olmaksızın çıkarılmasına izin verir. Maçalar, kalıplarla pratik olmayan veya elde edilemeyen şekiller, boşluklar ve pasajlar içeren dökümler sağlamak için kalıba yerleştirilen ayrı şekillerdir. Kalıcı kalıplar, ham dökümü kalıptan çıkarılmasına izin vermek için iki veya daha fazla parçaya ayrılabilir olmalıdır.

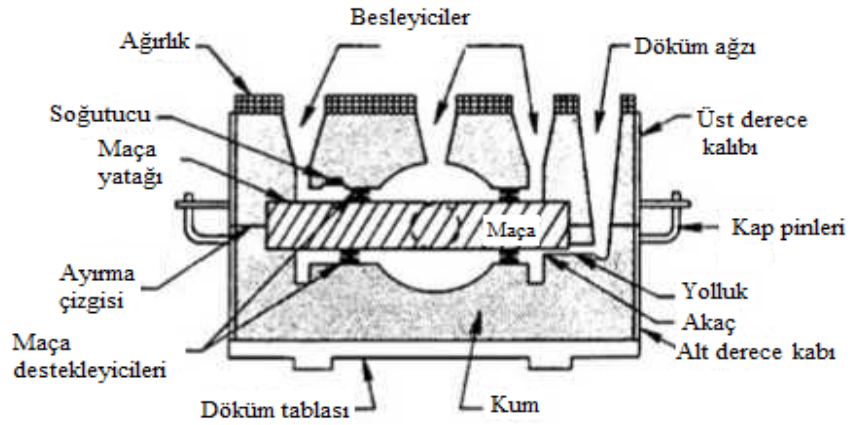
Harcanabilir modellerde kalıbın iki veya daha fazla ayrılabilir parçasının kısıtlamaları gerekli değildir, kalıplama ortamı sadece eriyik metal dökümü ve katılaşması sırasında harcanabilen kalıbı kuşatmalı ve şeklini korumalıdır. Şekil kurutulduktan sonra, kum veya diğer kalıplama ortamı sarsılır ve parçalanır. Kalıcı modeller veya sarf edilebilir modeller içeren harcanabilir kalıp proseslerini kullanarak parça dökümü, boyut, şekil ve ürün kalitesi bakımından muazzam bir tasarım özgürlüğü sağlayan çok yönlü bir kalıplama yöntemidir (ASM International 2009).



Şekil 2.1: Şekil döküm işleminin grafiği (ASM International 2009).



a)

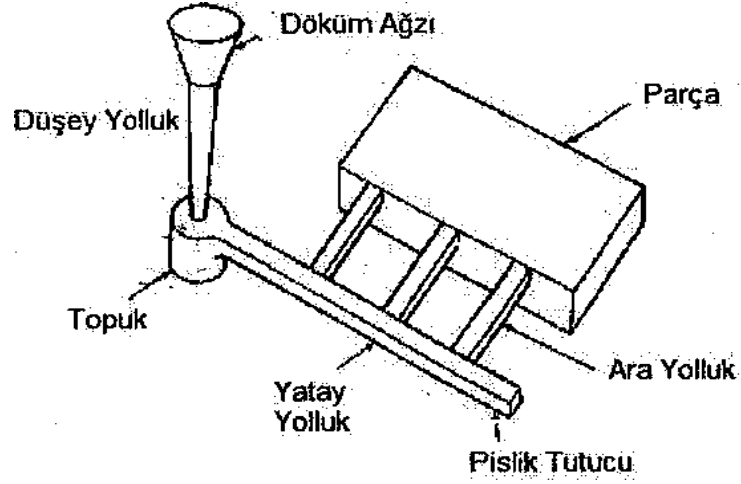


(b)

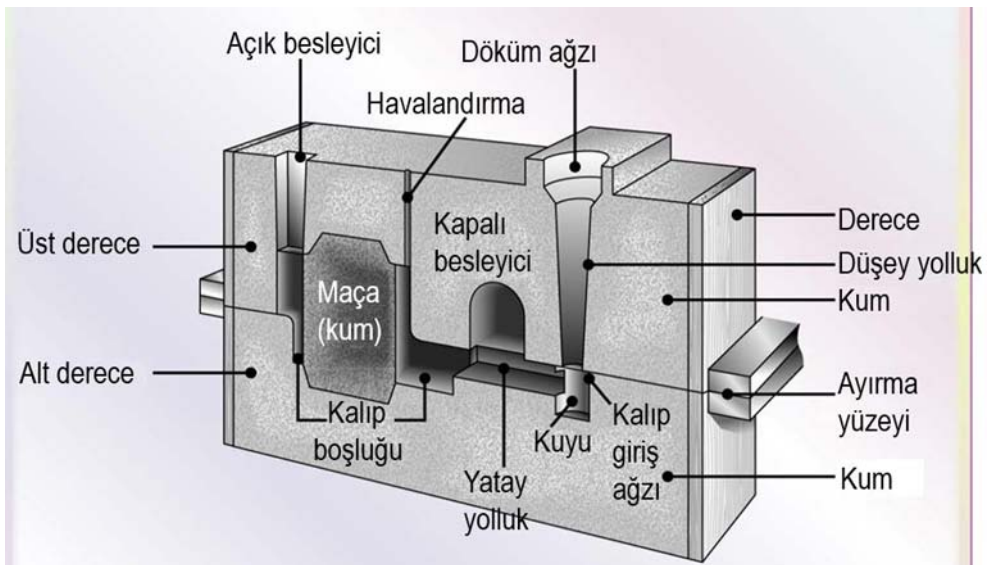
Şekil 2.2: Bir kum kalıbının başlıca bileşenleri. (a) Alt ve üst derecelerin kalıp montajı. (b) Kalıp ile maçanın kesit alanı (ASM International 2009).

## 2.1 Kum Kalıba Döküm

Demir esaslı ve demir dışı metallerin dökülebildiği bir harcanan kalıp tekniğidir. Dökümün temel ilkesini ergitilmiş metalin bir pota marifetiyle kalıba dökülmesi oluşturur. Döküm iç boşlukları maçalar aracılığı ile oluşturulur. Kalıplar genellikle iki parçalı, döküm yolluk sistemleri ve besleme amaçlı çıkıcıları içerir. Bilinen en eski döküm yöntemidir (Şekil 2.3) (Şekil 2.4).



Şekil 2.3: Yolluk sistemi (Erü 2016).



Şekil 2.4: Döküme hazır kum kalıp (Erü 2016).

## 2.2 Kum Esaslı Kalıp Türleri

### 2.2.1 Yaş Kum Kalıplar

En yaygın kullanılan kalıp yöntemlerindedir. Kalıp malzemelerinin bileşenleri;

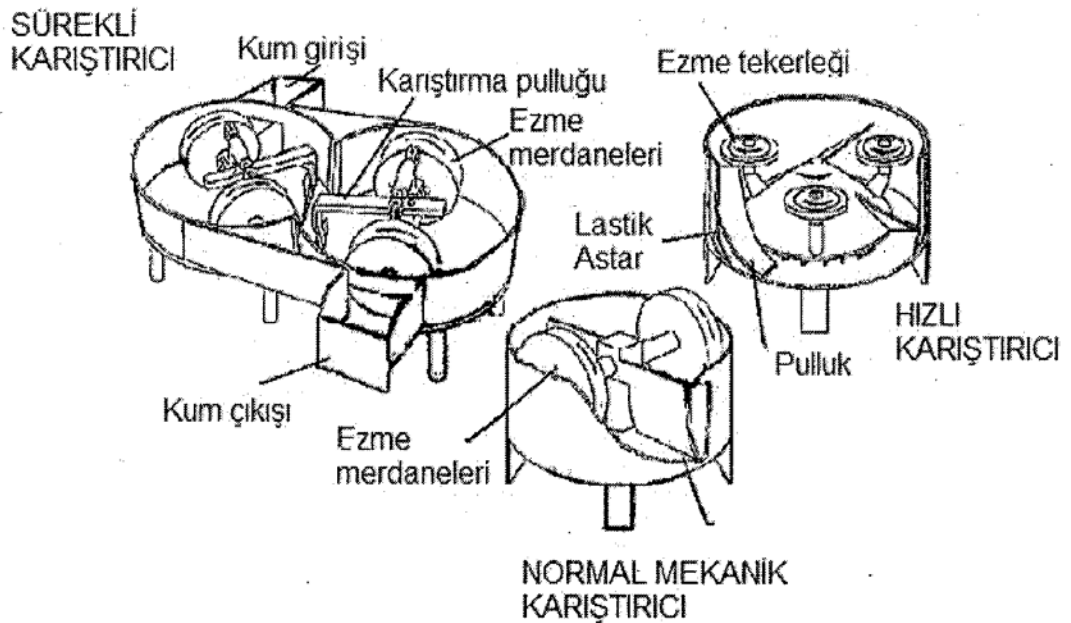
-Kum

-Kil

-Su

-Diğer katkı maddeleridir.

Kum tanecikleri ana kalıp malzemesini, suyu bünyesine alan kil ise bağlayıcıları oluşturur. Kalıplama küçük parçalar için masa veya tezgah üstünde, büyük parçalarda ise yerde veya kum havuzlarında yapılır. Elde edilen parçanın yeterliliği ustanın maharetine bağlıdır. Ancak saatte 60 ve üzeri parça kalıplanması durumunda makineli kalıplama yöntemi zorunludur (Şekil 2.5) (Aran 2007).



Şekil 2.5: Mekanik kum karıştırıcılar (Aran 2007).



### **2.2.1.1 Yaş Kum Kalıbının Üstünlükleri**

a-Kalıp malzemesi ucuzdur, defalarca kullanılabilir.

b-Yöntem basit olup mekanizasyona uygundur.

c-Değişik metal dökümüne elverişlidir.

### **2.2.1.2 Yaş Kum Kalıbının Dezavantajları**

a-Kalıp malzemelerinin dayanımı sınırlıdır.

b-İnce uzun, karmaşık biçimli ve iri parçaların dökümünde yetersizdir.

c-Erimeş metalin dökümü sırasında var olan nemin buharlaşması döküm kusurlarına neden olur.

d-Yüzey kalitesi ve boyut hassasiyeti çok iyi değildir.

e-Kalıbın optimum dayanımı nem kontrolüne bağlıdır.

### **2.2.2 Kuru Kum Kalıplar**

Yaş kum kalıplarına benzer şekilde hazırlanan kuru kum kalıpları, 150-350°C arasındaki sıcaklıklarda kurutulurlar. Bağlayıcı görevi yapan kilin suyunu kaybetmemesi için 400(°C)'ın üzerinde kurutma yapılmamalıdır. Yöntemin sakıncası ise kurutma işleminin süresi olup kalıp hazırlama süresini arttırması ve ek kurutma maliyetidir (Şekil 2.6) (Aran 2007).

Kalıplama Yöntemi ve Özellikleri	Çizgilerin Sıklığı Kalıp Sertliğini Belirler.
<b>ELLE DÖVME</b> 1. Sertlikte yerel farklılıklar oluşur. 2. Güç ve yavaş bir yöntemdir. 3. Büyük yatırım gerektirmez. 4. Deneyimli işçi gerektirir. 5. İşçilik maliyeti yüksektir.	
<b>SARSARAK SIKIŞTIRMA</b> 1. Kalıp kaldırılıp düşürülür. 2. Darbeli ve gürültülü çalışır. 3. Sıkıştırma alt tarafta daha fazladır. 4. Sığ profiller için uygundur.	
<b>EZEREK SIKIŞTIRMA</b> 1. Sıkıştırma üst kısımda daha fazladır. 2. Küçük parçalar için daha uygundur.	
<b>SAVURMA ve ÜFLEME</b> 1. İşlem hızlıdır. 2. Sıkıştırma homojendir. 3. Yüksek yatırım gerektirir.	

Şekil 2.6:Kalıp kumu sıkıştırma yöntemleri (Aran 2007).

### 2.2.2.1 Kuru Kum Kalıplamanın Üstünlükleri

a-Dayanımı ve metal erozyonuna direnci yüksektir. Taşıma da bozulma riski azdır.

b-Nem niceliğinin kontrolü kritik değildir.

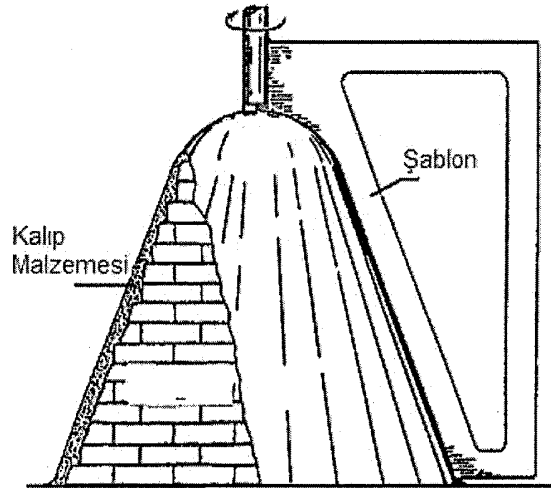
c-Döküm sırasında buhar oluşmayacağından buna bağlı döküm kusuru oluşmaz.

d-Gaz geçirgenliği daha yüksektir. Yaş kum kalıplarının yüzeyi kurutularak döküm sırasında nemin oluşturduğu sorunlar kısmen azaltılabilir. Bu işlemin gerçekleşmesinde, üfleç, sıcak hava elektrikli ısıtıcılardan yararlanılabilir. Yüzeyi

kurutulmuş kalıpların iç kısmındaki nem yüzeye yürüyeceğinden yüzey son kurutmasından sonra kalıp hemen kullanılmalıdır (Aran 2007).

### 2.2.3 Toprak (Balçık) Kalıplar

Biçimlendirmenin genellikle şablonla taranarak yapıldığı toprak kalıplar kağıt üretim merdaneleri büyük boyutlu silindirler gibi dönel yapılı ağır parçaların dökümü için uygun bir kalıplama yöntemidir (Şekil 2.7). Bu yöntemle dereceye sığmayacak büyüklükteki parçanın biçimine yakın tuğla, tahta vb. malzemelerden bir alt yapı oluşturulur. Kum, su, kil ve diğer katkıları ile hazırlanan harç adı geçen yapıya sıvanarak kabaca şekillendirilir. Daha sonra kalıp boşluğunun simetri eksenini etrafında döndürülen tarama şablonları yardımı ile, kalıp son şeklini alır. Son işlem kalıbın sıcak hava üfleçleri veya başka yöntemlerle kurutulması işlemidir.



Şekil 2.7: Balçık-toprak kalıbın alt yarısının şablonla taranarak hazırlanması (Aran 2007).

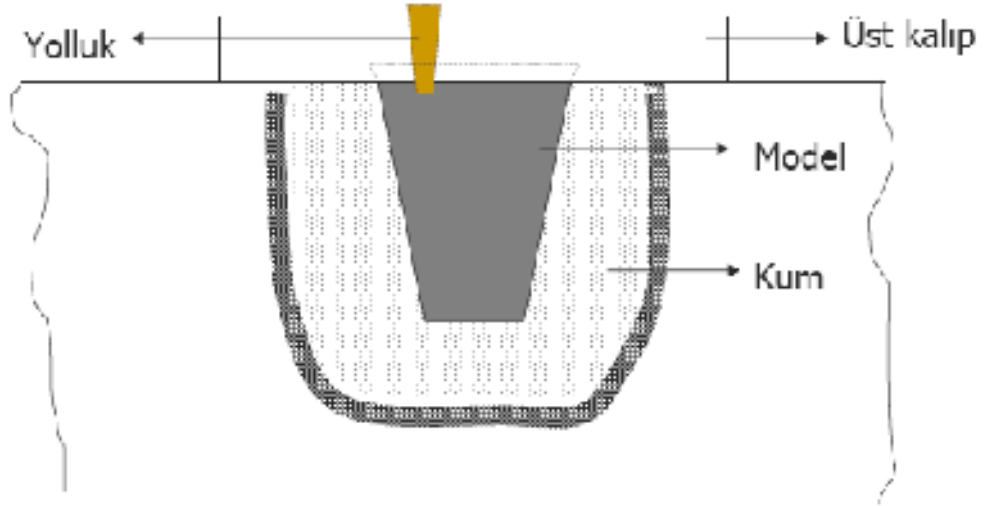
Toprak-balçık kalıplamada 3 boyutlu model kullanma gereği olmadığından yapımında büyük ekonomi sağlanır.

Yapılan iş tamamen el emeği gerektirdiğinden kalıpcının deneyimi ve becerisi ön plana çıkar.

## 2.2.4 Çukur Kalıplar.



Şekil 2.8: Çukur kalıp örnekleri (Ataçelik Döküm2016).



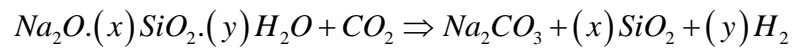
Şekil 2.9: Çukur kalıplama (Docplayer2008).

Derecelere sığmayacak kadar büyük (1-100 Ton/ad) parçalar çukur kalıplarda dökülür. Model bir çukura yerleştirilerek kum alt ve üstten sıkıştırılır. Daha sonra üst kalıp yerleştirilerek bölüm yüzeyinden metal sızmasını önlemek için yere bağlanır. Bölüm yüzeyi zemin düzeyi veya üzerinde olabilir. Birçok dökümhanede sürekli olarak üretilen parçalar için beton çukurlar vardır. Büyük parçalarda ortaya çıkan iç gerilmeleri azaltmak için bu tür dökümler yavaş soğutulmalıdır. Bu nedenle kalıbın açılması için birkaç gün beklemek gerekmektedir (Şekil 2.8) (Şekil 2.9).

### 2.2.5 Karbondioksit yöntemi

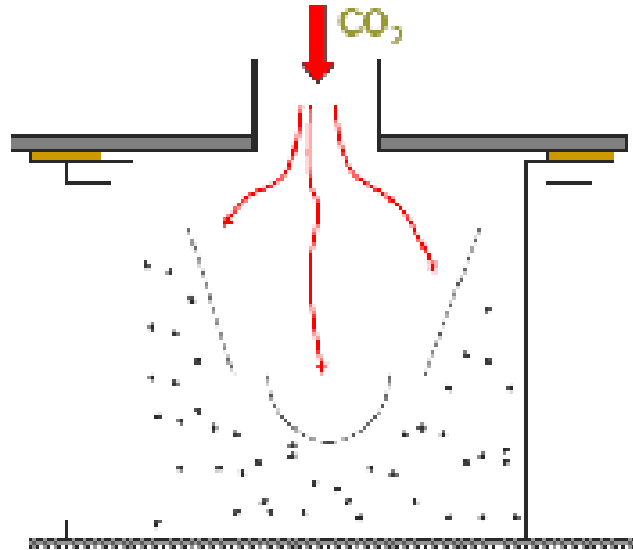
Kalıp ve maçaların sertleştirilmesinde  $CO_2$  kullanımını ilk kez 1950'li yıllarda ortaya çıkmıştır. İzleyen yıllarda daha da geliştirilip kullanımı yaygınlaştırılmıştır.

Yöntemin temel ilkesi kalıp numune % 3-5  $NaSiO_2$  (cam suyu) karıştırılıp ve kalıp sıkıştırılıp biçimlendirildikten sonra gaz geçirgenliği olan kum kalıp malzemesi içinden kısa bir süreyle  $CO_2$  gazı geçirilmesidir.  $CO_2$  gazı da sodyum silikatu sililkajel'e dönüştürür, böylece kum tanecikleri bağlanır.



Bu yöntem için özel kalıplama ve maça üfleme makineleri geliştirilmiş olup, bu makinelerde kalıplama ve gaz verme işlemi bir biri ardı sıra yapılmaktadır.

$CO_2$  yöntemi maça üretiminde de kullanılabilir (Şekil 2.10) (Aran 2007).



Şekil 2.10:  $CO_2$  yöntemi (Docplayer2008).

### 2.2.5.1 $CO_2$ Yönteminin Üstünlükleri

a-Kalıp ve maça yapım tekniği geleneksel kum kalıp yapımına benzer olup her dökümhanede kolayca uygulanabilir.

b-Yöntem az sayıda ve seri parça üretiminde kolayca kullanılabilir.

c-Karışık biçimli parçaların kalıptan çıkarılması yaş ve kuru kum kalıba göre daha kolaydır.

d-Üretilen parçaların yüzey kalitesi ve boyut hassasiyeti yaş ve kuru kalıba göre daha iyidir.

e-Kalıp kurutma işlemine gerek duyulmadan yüksek dayanımlı kalıp elde edilir. Fırınlar için yatırım gerektirmez. Yer ve zaman tasarrufu yapıldığından yaş ve kuru kum kalıplarına göre daha ekonomiktir.

f-Yöntemde rahatsız edici gaz ve koku çıkmaz.

g-Maça üretiminde  $CO_2$  gazı geçirilmeden önce maçaların içi boşaltılarak kabuk kalıp yöntemine benzer benzer biçimde maça üretimi yapılabilir.

### 2.2.5.2 $CO_2$ Yönteminin Olumsuzlukları

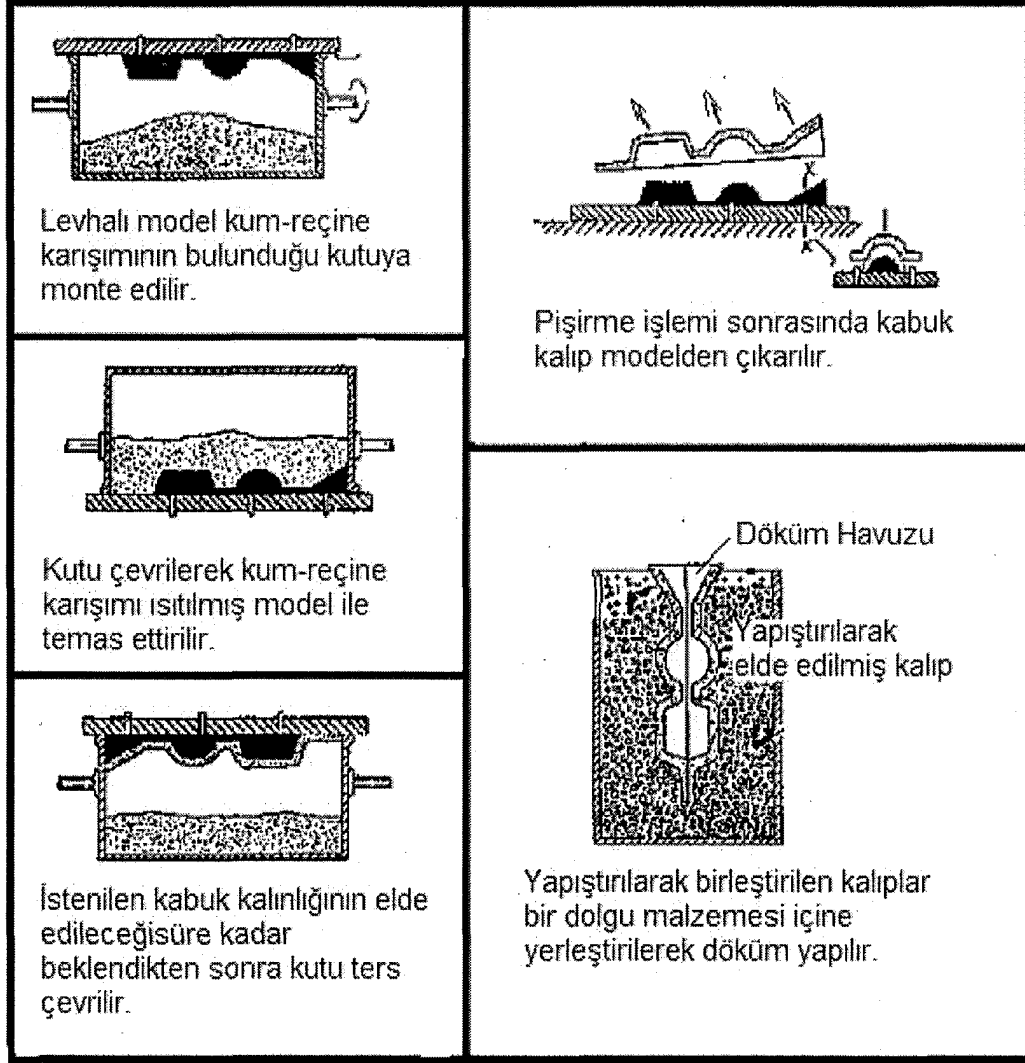
a-Hazırlanan kum karışımının ve sertleştirilen kalıpların bekleme süreleri kısadır. Alt ve üst kalıpların bu yöntemle sertleştirilip kapatılmasından sonra 24 saat içinde döküm yapılmalıdır.

b-Kalıp ve maçaların dökümden sonra dağılabilme özellikleri çok kötüdür.

### 2.2.6 Kabuk Kalıplar

2. Dünya savaşı sırasında Johannes Croning tarafından bulunan kabuk kalıp döküm yöntemi Croning veya "C" yöntemi olarak ta adlandırılır.

Kalıplamada kullanılan kalıp malzemesi ince taneli kum ile bağlayıcı olarak ilave edilen yüksek sıcaklıkta sertleşen bir termoset reçinenin karışımıdır. Kumun tane inceliği beklenen yüzey kalitesini belirler. Kullanılan bağlayıcı reçine sayesinde kalıp malzemesi çok yüksek dayanımlara ulaştığından, yanı sıra kalıp malzemesi pahalı olduğundan kabuk biçiminde kalıpların kullanılması yeterli olur. Metalse levhalı modellerin yüzeylerine özel bir sıvı püskürtülür. Yaklaşık 200( C) sıcaklığa ısıtılır ve kum+reçine karışımıyla kaplanır. Model yüzeyine püskürtülen sıvı,kalıp kumunun modele yapışmasını önler. Kalıp malzemesi model üzerinde yaklaşık 5÷20 (sec) tutulur. Bu sırada model üzerine temas ederek ısınan bölgedeki reçine sertleşir. Sıcaklık ve tutma süresi ile ayarlanabilen ince bir kabuk oluşur. Kabukta istenilen kalınlığa ulaşıldığına [6-12 (mm)] sertleşmiş ve bağlanmamış kum geriye dökülür. Tam sertleşmeyi sağlamak için kabuk modelden çıkarılmadan önce 315( C) 'a kadar pişirilir. Böylece tam dayanımına ulaşan kabuk modelden ayrılır. Kabuk döküm yönteminin aşamaları Şekil 2.11'de gösterilmiştir (Aran 2007).



Şekil 2.11: Kabuk kalıba döküm yönteminin aşamaları (Aran 2007).

Kabuk kalıplar 2 veya daha çok parçalı yapılabilirler, daha sonra yapıştırılarak birleştirilir. Döküm sırasında kalıbın şişmesini önlemek için kalıplar bir dolgu malzemesi (çakıl, iri taneli kum, metal bilyeler) içine gömüldükten sonra sıvı malzeme ile doldurulur. Bu yöntemle maça üretimi de mümkün olup maçalar çok kısa sürede sertleştiğinden yöntem çok hızlı, elde edilen maçaların kalitesi de yüksektir.



### **2.2.6.1 Kabuk Kalıpların Üstünlükleri**

a-Hassas toleranslar elde edilebilir.

b-Çok ince kum kullanıldığından yüksek yüzey kalitesi verir.

c-Makineler ile üretildiğinden seri üretime uygundur.

d-Döküm daha düşük sıcaklıklarda yapılabilir ve daha ince cidarlar dökülebilir.

e-Kalıplar hafiftir, depolanabilir.

### **2.2.6.2 Kabuk Kalıbın Dezavantajları**

a-Metal malzemeden üretilen modeller pahalı olup, ancak seri üretimde ekonomik olur.

b-Kabuk kalıplama makinelerinin yatırım maliyeti yüksektir.

c-Dökülebilen parça ağırlık ve boyutları sınırlıdır.

d-Bağlayıcı olarak reçine katıldığından kalıp malzemesi maliyetleri yüksektir.

### **2.2.7 Havada Sertleşen (Air-set) Kalıplar**

Pişirme işlemi gerektirmeyen bu yöntemde kalıp malzemesi, kum, sıvı organik bağlayıcı ve uygun bir katalizörden oluşur. Kayıp dayanımı, sıvı reçinesinin oda sıcaklığında polimerleşmesiyle sağlanır.

Kalıp malzemesi modelin etrafına dökülüp sıkıştırıldıktan sonra en az 20 dakika beklenilip model çıkarılır. Kalıp tam sertliğine ulaştıktan sonra döküm yapılır.

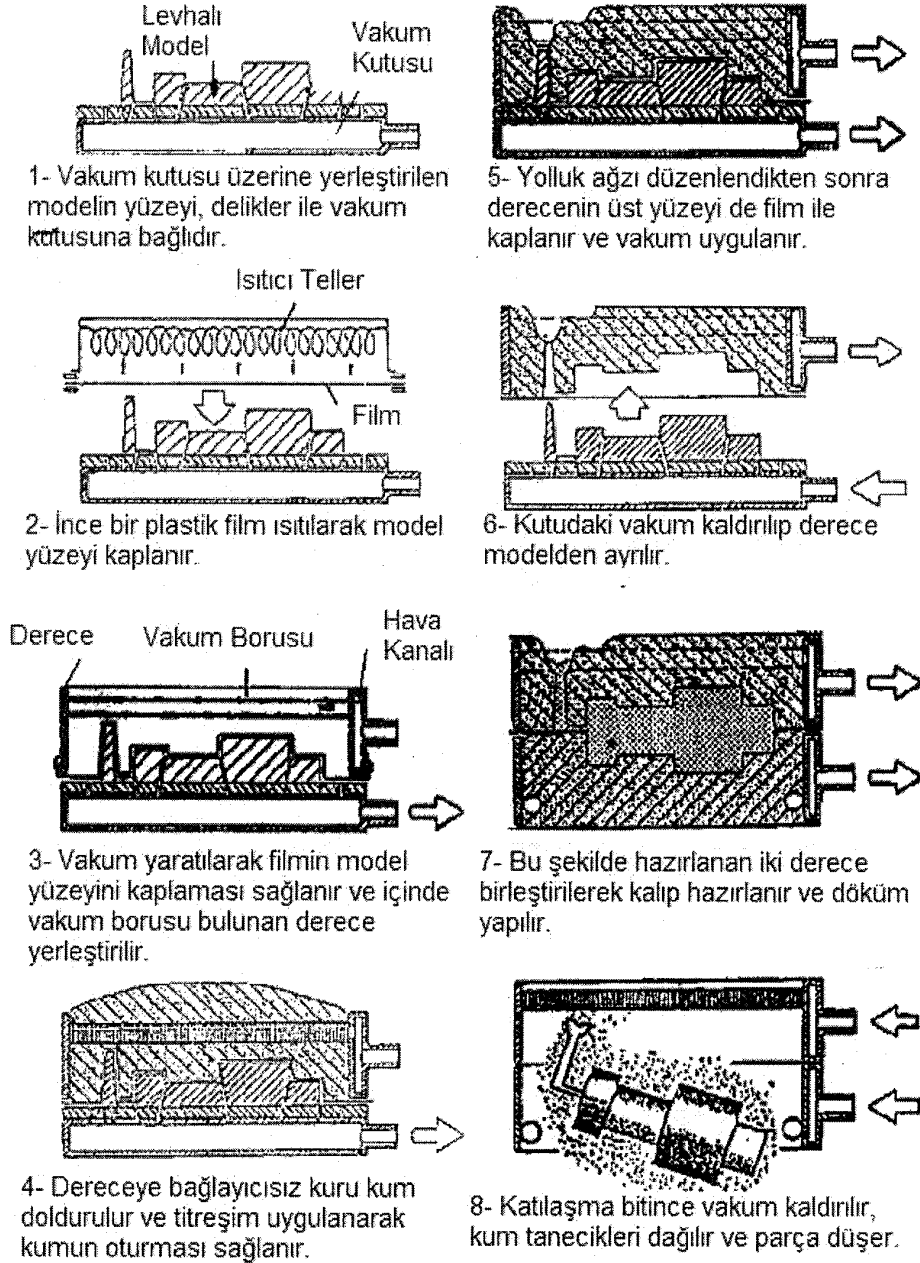
Bu gruba giren bazı kalıp malzemelerinde sertleşme reaksiyonu kalıp içinden gaz halinde bir katalizör geçirilerek sağlanır (Aran 2007).

### 2.2.8 Çimento Bağlayıcı Kalıplar

Kalıp malzemesi bileşenleri; kum, %8÷12 çimento ve %4÷6 sudan oluşur. Kalıplama diğer kum kalıplarla aynıdır. Model çıkarılmadan önce kalıp malzemesinin belirli bir dayanıma ulaşması beklenir. Tam sertleşme için gerekli zaman 72 saat olup, kalıp döküme hazır hale getirilir. Döküm sırasında ortaya çıkan sıcaklıklarda çimentonun kristalize nemini kaybetmesi ile ortaya çıkan nemin kalıptan ayrılabilmesi gerekli kalıp geçirgenliği sağlanmalıdır. Bu yöntem büyük parçaların dökümü için dayanımı, yüzey kalitesi ve boyut hassasiyeti yüksek kalıpların üretiminde kullanılır. Kalıplamada kum sıkıştırma işi daha az olup kurutma işlemine gerek yoktur. Kalıp ve maçaların dökümden sonra dağılabilme özelliği çok kötüdür (Aran 2007).

### 2.2.9 Vakum Kalıplama Yöntemi

İlk kez 1970'li yıllarda Japonya'da geliştirilen bu yöntemde bağlayıcı içermeyen ince taneli kumlar kalıp malzemesi olarak kullanılır (Şekil 2.12). Kalıbın sızdırmazlığı model yüzeyinin ince plastik bir film tabakasıyla ısıtılarak kaplanmasıyla sağlanır. Bu film oluşturulduktan sonra eklenen kum hafif bir titreşimle vakum etkisiyle sıkıştırılıp derece oluşturulur. Derecenin üst yüzeyi de film kaplandıktan sonra vakum uygulaması sürerken derece kaldırılır. Bu şekilde oluşturulan dereceler hala vakum altındayken birleştirilip döküm işlemi yapılır. Katılaşma süreci sonunda vakum kaldırıldığında bağlayıcı içermeyen kum kolayca dağılır (Aran 2007).



Şekil 2.12: Vakumlu kalıplama yönteminin aşamaları (Aran 2007).

### 2.2.9.1 Vakum Kalıplamanın Avantajları

-Kalıbın kolay dağılması sayesinde karmaşık şekilli parçaların sorunsuz ve kolayca kalıptan çıkarılması mümkündür.

-Homojen derece içi sertliği nedeniyle yüksek boyut hassasiyeti.

-Düzgün döküm yüzeyleri.

-Kalıp boşluğunun plastik filmle kaplı olması nedeniyle kalıp içinde erimiş maddelerin akıcılığı yüksektir.

-Kalıp hazırlama ve bozma sırasında mekanik işlemlerin (vibrasyon, tokmakla vb.) olmaması nedeniyle gürültüsüz bir kalıp hazırlama ve bozma süreci vardır.

-Döküm gazlarının vakum sistemiyle kum taneleri arasından geçerek emilmesi nedeniyle çalışma ortamına döküm gazlarının yayılmaması.

-Herhangi bir tip modelin kullanılabilmesi.

-Bağlayıcı madde masrafı olmaması.

-Az sayıda üretimlerde (prototip gibi) yüksek ekonomi.

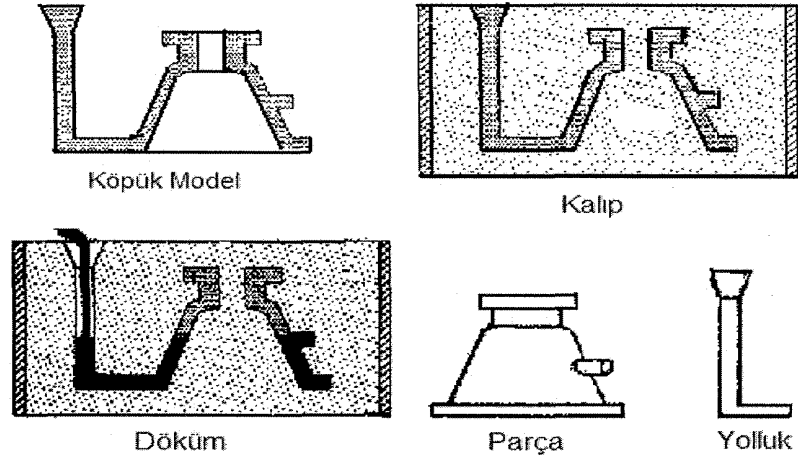
### **2.2.9.2 Vakum Oluşturmanın Dezavantajları**

-Ana model en çok 15-20 kez kullanılabilir. Bu sayıdan sonra yeni ana model üretime gerektiğinden. Yeni ana model üretiminin uzun bir süreçte yapılabilmesi nedeniyle efektif ve ekonomik imalat süreci için 20 ve 20'nin katları sayıda üretim yapılır.

-Vakum ekstra bir kuvvet gerektirdiğinden ince kesitler kırılabilir ya da deforme olabilir. Vakumlu kalıplama yöntemi hızlı prototip üretmede, hassas yüzey kalitesine sahip elemanlarla karmaşık tasarımlı ve çok büyük boyutlu olmayan (en fazla 60-70 cm boyutlu) parçalarda kullanılır.

### **2.2.10 Dolu Kalıba Döküm**

Bu yöntem yanarak gaz haline geçen döküm modellerinin kullanıldığı bir kalıplama tekniğidir. Şekil 2.13'de bu model malzemesi, testere, bıçak veya sıcak tel ile kesilerek şekillendirilir. Büyük modeller birçok parçanın yapıştırılarak birleştirilmesiyle oluşturulabilir. Kalıplama sonrasında köpük model kalıp içinde bırakılır (dolu kalıp). Erimiş metal kalıba dökülünce model yanarak gaz halinde kalıptan ayrılır. Erimiş metal kalıbın yerini doldurarak parça biçimlenir (Aran 2007).

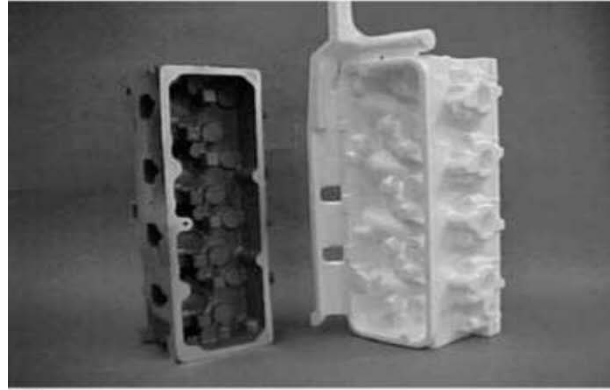


Şekil 2.13: Dolu kalıba döküm (Aran 2007).

Bu yöntemle yolluklar, çıkıcılar ve diğer tüm kalıp ve elemanları köpükten yapılarak kumda kalıplanır. Modelin kalıptan çıkarılması söz konusu olmadığından kalıbın parçalı yapılmasına gerek yoktur. Model kalıptan çıkarılmadığından tüm girinti ve iç boşluklar kum ile doldurulabilir. Modelin kalıptan çıkarılması durumunda gereksinim duyulan eğitim ve maça kullanılmasına gerek kalmaz. Köpüğün kalıplama sırasında biçim değiştirmemesi için dövülerek sıkıştırılan kum kalıplar yerine  $CO_2$  yöntemi veya havada kendiliğinden sertleşen kalıp malzemelerinin kullanımı tercih edilmelidir (Şekil 2.14) (Aran 2007).



(a)



(b)

Şekil 2.14: Dolu kalıba döküm.Silindir gövdesi için kayıp köpük model.(a) Birbirine yapıştırılmış dört farklı bölüm. (b) Yolluk sistemli köpük kümesi ve döküm (ASM International 2009).

Kalıplama tamamlandıktan sonra modelin dışta kalan kısımları bir gaz alevi ile yakılır. Sıcak metalle karşılaşan modelin diğer kısımları yanarak gazlaşır. Sıvı metaller başlangıçta yavaş yavaş doldurularak hidrokarbonlar içeren yanma gazlarının herhangi bir patlamaya neden olmadan kalıbın içinde ve dışında yanmasına olanak verilmelidir. Dolu kalıba döküm tekniği sadece az sayıda üretilecek büyük parçaların üretiminde kullanılmaktadır. Örneğin otomotiv endüstrisinde kullanılan pres kalıpları bu yöntemle üretilir. Teknik ve ekonomik olarak önemli üstünlükleri olan bu yöntemin küçük parçaların seri üretiminde kullanılmasını sağlayacak araştırmalar devam etmektedir (Şekil 2.15) (Aran 2007).



Şekil 2.15: Dolu kalıba döküm. Döküm manifold ile kayıp köpük döküm için model (ASM International 2009).

### 2.2.11 Savurma Döküm

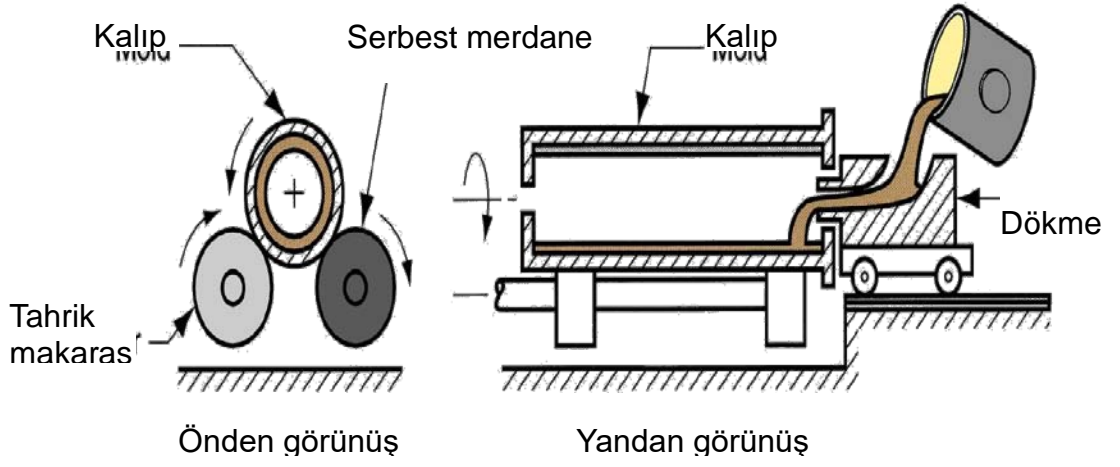
Merkezkaç kuvvetinin erimiş metali metal kalıbın dış bölgelerine dağıtabilmesi için kalıbın yüksek hızla döndürüldüğü, yaygın bir döküm yöntemi

- Bu gruptaki yöntemler:
- Gerçek savurma döküm
- Yarı savurma döküm
- Savurmalı döküm

Erimiş metal, boru benzeri dönel simetrik bir parça üretmek için dönen kalıbın içine dökülür (Şekil 2.16).

- Yüksek hızda dönmenin sağladığı merkezkaç kuvvetler sıvı metalin kalıp iç cidarına homojen olarak dolmasını ve kalıbın iç şeklini almasını sağlar.
- Parçalar: borular, tüpler, burçlar ve halkalar.
- Dökümün dış yüzeyi yuvarlak, oktagon, hegzagonal vs. olabilir; ancak içi şekli, radyal simetrik kuvvetler nedeniyle (teorik olarak) mükemmel yuvarlaklıktadır.

Dönme eksenini yere paralel dik yada yatık olabilir.



Şekil 2.16: Gerçek savurma döküm ile boru döküm ekipmanı (Gülmez2010).

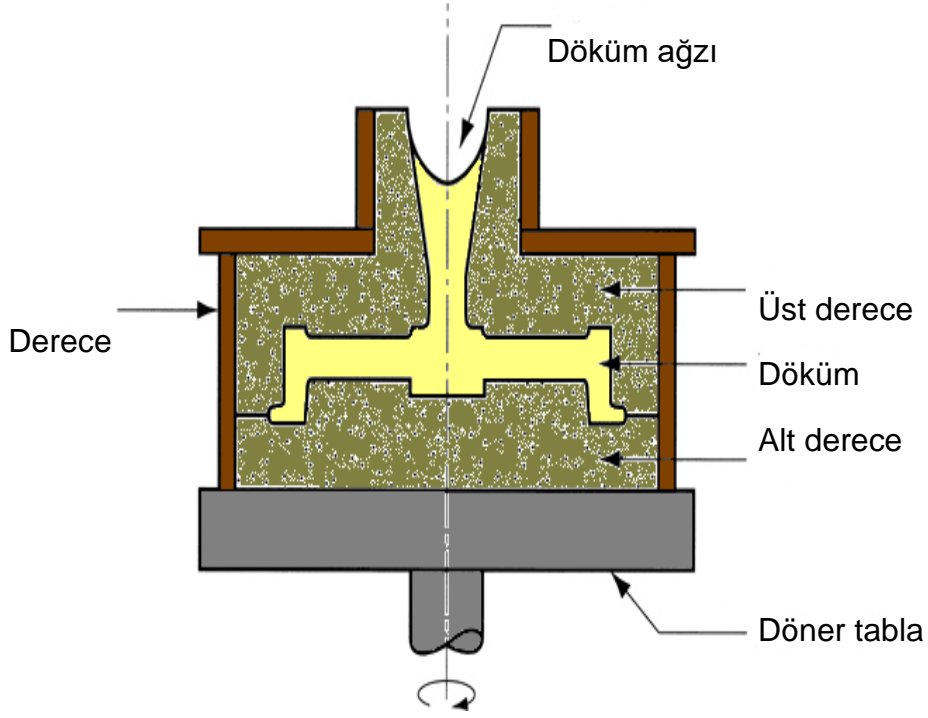
#### 2.2.11.1 Yarı Savurma Döküm

Savurma kuvveti, borsal parçalar yerine dolu dökümler üretmek için kullanılır (Şekil 2.17).

- Kalıplar, merkezden metal besleyecek besleyicilerle birlikte tasarlanır
- Dökümdeki metalin yoğunluğu, dönüş merkezine oranla dış kesitlerde daha büyüktür
- Çoğunlukla, kalitenin en düşük olduğu kısım olan, dökümün merkezi talaşlı işlenerek uzaklaştırılan parçalarda kullanılır

Örnekler: tekerlekler ve makara



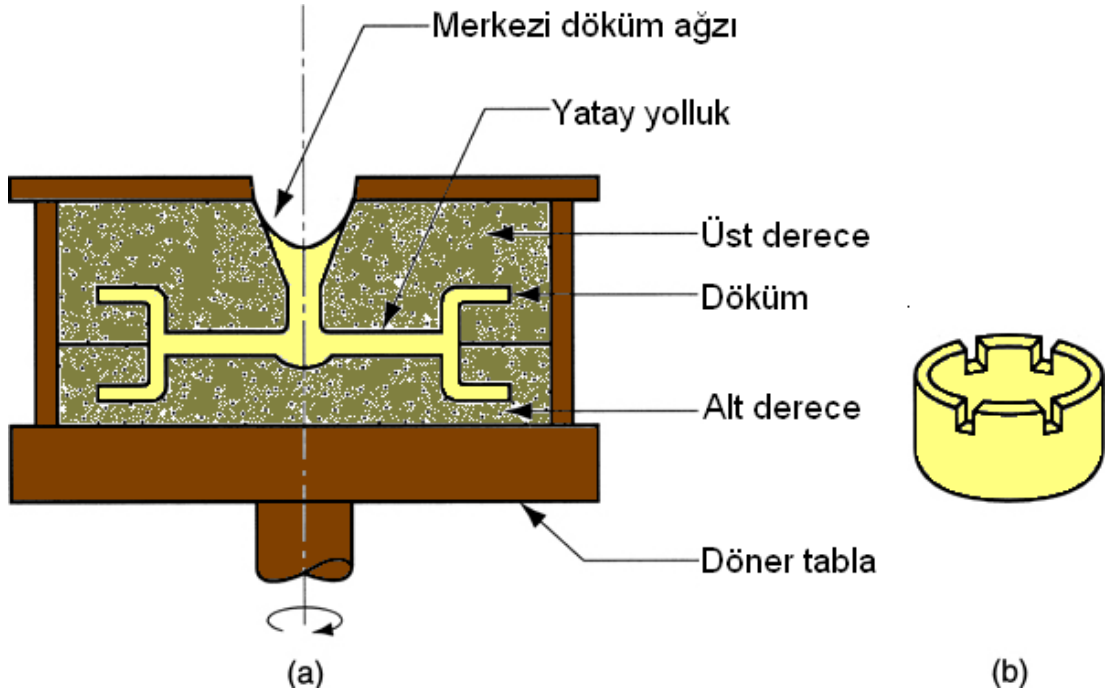


Şekil 2.17: Yarı savurmalı döküm (Gülmez2010).

### 2.2.11.2 Savurma Döküm

Kalıplar, parça boşlukları dönme ekseninden uzak olacak şekilde tasarlanarak erimiş metalin merkezkaç kuvvetiyle bu kalıp boşluklarına dağıtılabileceği şekilde dökülür (Şekil 2.18).

- Küçük parçalar için kullanılır
- Diğer savurma döküm yöntemlerinde olduğu gibi parçanın radyal simetrik olması gerekmez



Şekil 2.18: (a) Savurmalı döküm yöntemi – merkezkaç kuvveti metalin dönme ekseninden uzaklaşarak kalıp boşluklarına akmasına neden olur, (b) döküm parça (Gülmez2010).

## 2.3 Diğer Döküm Yöntemleri

### 2.3.1 Harcanan Kalıp Kullanılan Yöntemler

#### 2.3.1.1 Hassa Döküm

Bu döküm yönteminin esasını mum vb. eriyebilen modellerin harç halinde refraktere gömülmesi oluşturur. Daha sonra oluşturulan kalıp fırınlanarak eriyen model dışarı alınır ve döküm boşluğu oluşturulur. İnsanlık tarihinde dökümcülüğün başlamasından hemen sonra yaklaşık 3000 yıldan bu yana bilinen bir döküm yöntemidir. Mısır ve Çin Shang hanedanı döneminde kullanılmıştır. Bu teknik 2. Dünya savaşına kadar yalnızca dişçiler ve kuyumcular tarafından kullanılırken izleyen yıllarda tekstil, uçak, elektronik ve makine sanayisinde duyulan gereksinim nedeniyle hızla endüstriyel uygulamasını yaygınlaştırmıştır. Üretilecek her parça için

ayrı bir model gerektiren hassas dökümde kalıp malzemesi olarak, mum, donmuş civa, plastik vb. malzemelerden modeller kullanılır. Model üretiminde mum veya plastiğin metal bir kalıba enjeksiyonu esas yöntemdir. Çok sayıda model bir yolluğa salkım şeklinde bağlanarak oluşturulur. Dökülen metalin türü parça boyutları, istenen soğuma hızı gibi etmenlere bağlı olarak iki farklı kalıplama yönteminden biri tercih edilir. Bunlar;

#### **a-Dereceli hassas döküm**

#### **b-Seramik hassas döküm.**

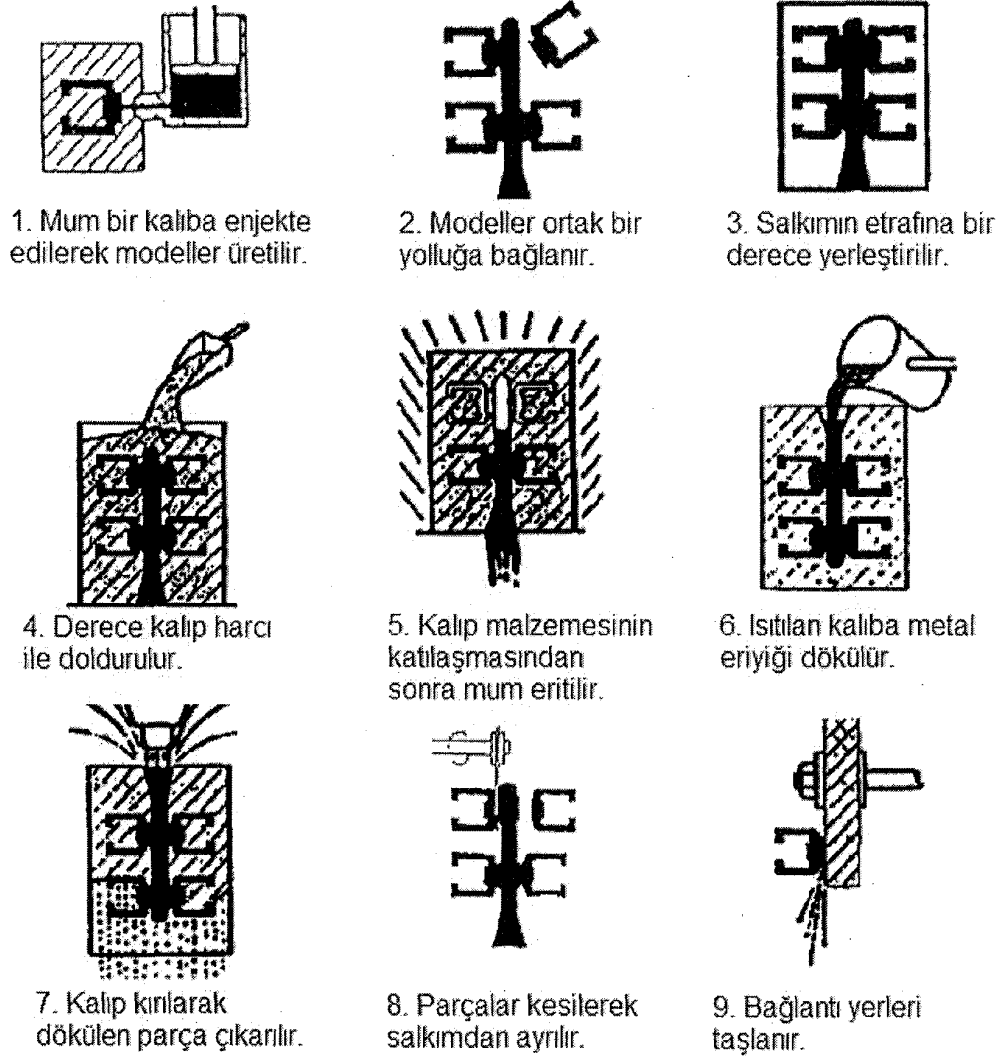
#### **a-Dereceli Hassas Döküm**

Yukarıda anlattığımız yöntemle hazırlanan döküm modelleri öncelikle seramik bir çamura daldırılarak ön kaplama yapılır (Şekil 2.19). Düşük sıcaklıklarda eriyen metaller için gerek duyulmayan ön kaplamadan sonra model salkımı, paslanmaz bir derece içinde refrakter karışımıyla kaplanır. Kalıplama masasına uygulanan vibrasyon ile kalıp harcının boşluksuz şekilde salkımı sarması sağlanır. Kurutmadan sonra ters çevrilerek 95–150 C sıcaklıkta mum eritilerek dışarı akıtılır. Dökümden önce kalıp dökülecek metal cinsine göre belirli bir sıcaklığa ısıtılır. Örneğin; pirinçte 870 C 'a kadar;Demir esaslı alaşımda 1050 C 'a kadar ısıtılır. Sıvı metalin kalıba doldurulması ve katılma sonrası kalıp kırılarak döküm salkımı kalıptan dışa alınır (Aran 2007).

Döküm parçaları kesilerek ayrılır. Kesim yerleri taşlanarak düzeltilir (Şekil 2.20).



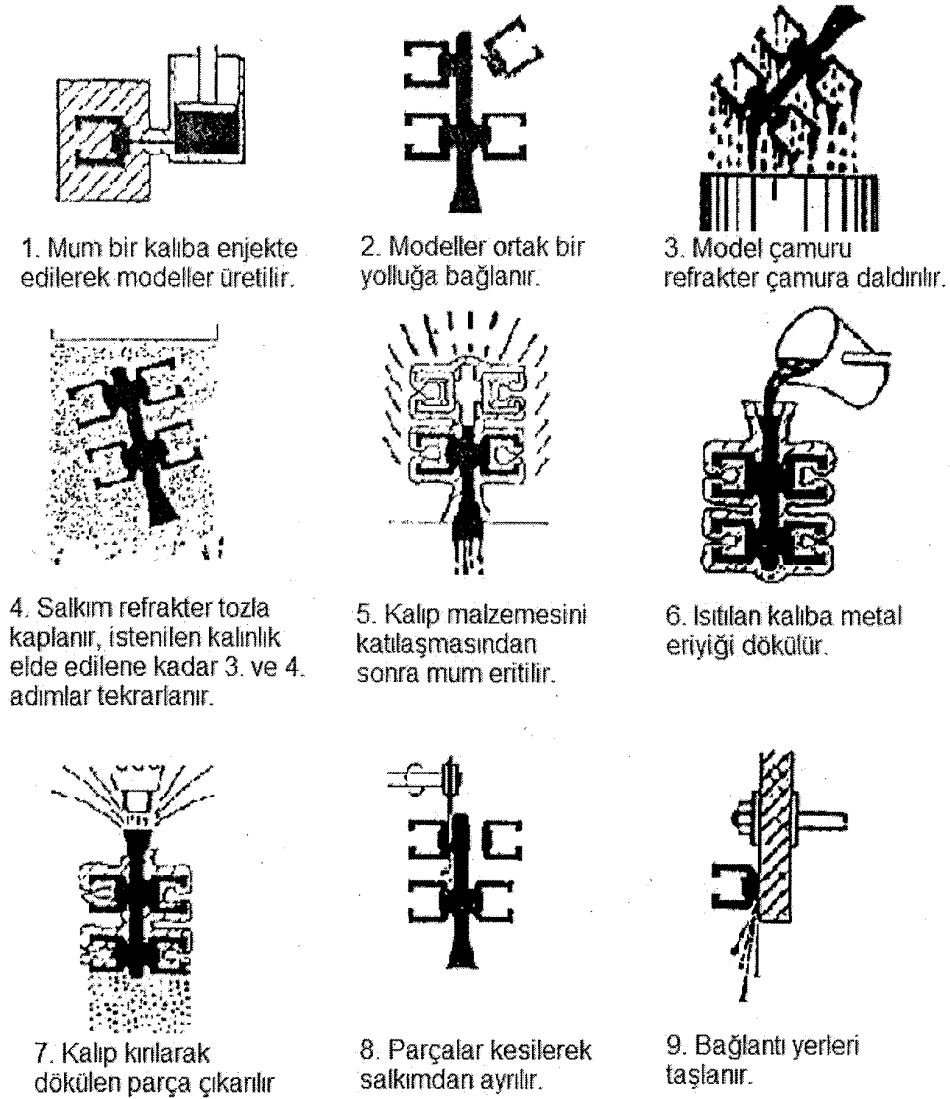
Şekil 2.19: Hassas döküm (ASM International 2009).



Şekil 2.20: Dereceli hassas döküm yöntemi (Aran 2007).

## b-Seramik Kabuklu Hassas Döküm

1100 C ve üzerinde eriyen çelik gibi metallerin dökümünde daha yüksek evsafılı refrakter malzemeler seçilmelidir (Şekil 2.21). Genellikle seramik ve pahalı olan kalıp malzemesiyle model salkımı etrafında yalnızca kabuk oluşumuyla yetinilir. Burada mum salkım çabuk sertleşen bir refrakter çamura daldırıldıktan sonra bir akışkan yatak veya yağmurlama kabiniinde refrakter tozu ile kaplanır. Oluşturulan bu kabuktan sonra istenilen kabuk kalınlığına ulaşıncaya kadar (örneğin 5-15 mm)işlem tekrarlanır. Tekrar sayısı 6-8 kez civarındadır. Bu şekilde elde edilen kalıp ön ısıtma ile döküme hazır hale getirilir (Aran 2007).



Şekil 2.21: Seramik kabuklu hassas döküm yöntemi (Aran 2007).

### **2.3.1.1.1 Hassas Dökümün Üstünlükleri**

a-Küçük ve karmaşık şekilli parçaları için uygundur.

b-Yüzey düzgünlüğü, kalitesi ve boyut hassasiyeti yüksektir.

c-Genellikle ek işlemlere gerek kalmadığından işlenmesi güç malzemelerin üretiminde öncelikli yöntemdir.

d-Kalıp tek parçalı olduğundan kalıp birleşim çizgisi yoktur.

e-Mum kalıp malzemesi defalarca kullanılır.

### **2.3.1.1.2 Hassas Dökümün Dezavantajları**

a-Her bir parça için ayrı model gerektirir.

b-Yöntem mekanizasyona uygun olmadığından üretim hızı ve kapasitesi düşüktür.

c-Model ve kalıp malzemelerinin pahalı olması ve üretimin çok sayıda işlem içermesi nedeniyle parça maliyeti yüksektir.

d-Döküm parça ağırlığı 5 kg ile sınırlıdır.

### **2.3.1.2 Alçı Kalıba Döküm**

Günümüzden 3000-4000 yıl önce Çinliler tarafından kullanıldığı bilinen alçı kalıba döküm yöntemi genellikle bakır ve alüminyum alaşımları gibi düşük sıcaklıkta eriyen demir dışı malzemelerin dökümünde kullanılır. Dayanımı düşük model malzemelerinin kullanılması durumunda (mum, kum vb.) sıkıştırma anında şekil bozulacağından sıvı harç haline olan alçı tercih edilir (Aran 2007).

Alçı kalıplar 2 veya daha çok parçalı yapıldığından kum kalıplar gibi bölüm yüzeyi oluştururlar. Kalıp malzemesi 100 ölçü alçının 160 ölçü suyun krem kıvamına ulaşınca kadar karıştırılmasıyla hazırlanır. Kalıp harcına değişik katkı maddeleri istenen özellikleri sağlamak üzere eklenir.

-Kalıbın çatlamasını engellemek için %20 oranında talk.

-Katılma süresini uzatmak için  $MgO_2$  ve kaolin (saf kil) kullanılır.

-Bunun dışında dayanım ve genişleme benzeri özellikleri kontrol etmek için kireç,çimento, asbest, elyaf, silis unu vb. maddeler ilave edilir.

-Karıştırma hızının uygun seçilmesi önemlidir. Çok hızlı karıştırılmazsa bünye havayı hapseder.

-Çok yavaş karıştırılırsa harç katılaşır.

-Alçı ( $CaSO_4 \cdot 1/2 H_2O$ ) başlangıçta yarım sulu haldedir. Harcın katılaşması sırasında su ile reaksiyona girerek 2 sulu ( $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ ) katı hale dönüşür.

Sulu harç model üzerine döküldükten sonra kalıp sertleşmeye başlar. Model kalıptan çıkarılarak 200 C sıcaklıkta bir kaç saat kurutulur. Böylece tüm suyu giderilen kalıp susuz  $CaSO_4$  haline dönüştürülür. Kurutulmuş kalıp nemden korunmalıdır.

Çünkü gaz geçirgenliği düşük olan alçının bu özelliğini olumsuz yönde etkiler.

Ayrıca çok kırılğan olan bu kalıbın taşınmasında dikkatli davranılmalıdır. Alçı kalıpta üretilen parçaların yüzey düzgünlüğü çok temiz olup düşük toleranslarda döküm parçalar elde edilebilir.

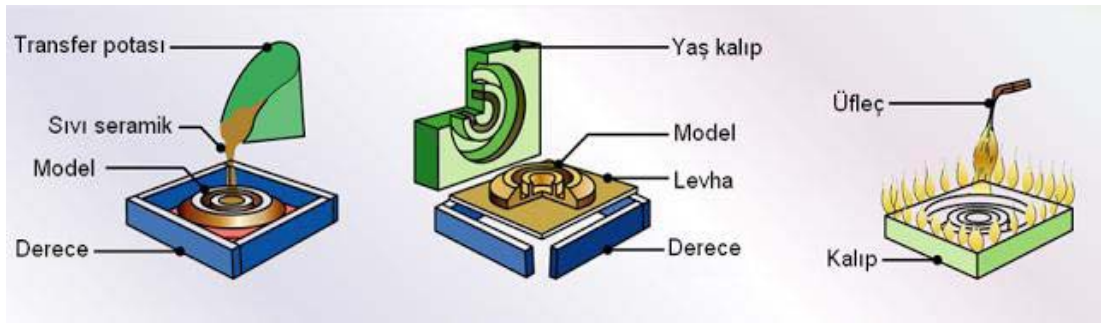
Alçının dayanımının düşük olması nedeniyle parça ağırlığı sınırı 10 kg. dır. Bunun dışında refrakterliği düşük olan alçı kalıp yalnızca ergime sıcaklığı düşük olan alüminyum, bakır, magnezyum parçaların dökümünde tercih edilir. Isı iletkenliği düşük olan alçı kalıpta soğuma hızı düşük ve üniform (düzgün dağılımlı) olur. Bu nedenle alçı kalıba döküm yöntemi büyük kesit farklılığı içeren döküm parçaların döküm ve üretimine uygundur. Hızlı soğuma istenilen bölgelere alçı kalıpta soğutma plakaları yerleştirilebilir. Alçı kalıbın en büyük olumsuz yönü gaz geçirgenliğinin azlığı olduğundan bu olumsuzluğu iyileştirebilmek için farklı yöntemler geliştirilmiştir.

-Dökümden hemen önce kalıp boşluklarındaki hava emilir.

-Alçıya kalıplama sırasında köpük yapıcı eklenerek gözenekli bir yapı oluşturulması sağlanır.

-Antioch yönteminde ise kalıp harcına %50'ye kadar kum eklenir.

-Hazırlanan kalıpların bir otoklavda nemi alınır. Daha sonra pişirilerek kurutulur. Bu işlemler sonrasında iğne formulu alçı tanecikleri küreselleşerek kalıbın gaz geçirgenliği artırılır (Şekil 2.22) (Aran 2007).



Şekil 2.22: Alçı kalıba döküm (Güven 2014).

### 2.3.2 Direk Basıncılı Döküm Yöntemleri

Bu yöntemin esasını ergimiş metalin yüksek basınç altında kalıba sevk edilmesi oluşturur. Basınç katılma sürecinde sabiti tutulur, devamında kalıp açılarak parça çıkartılır. Bu döküm yönteminde kullanılan kalıplar basınçlı olarak adlandırıldığından *bu yöntemde basınçlı döküm olarak* tanımlanır. Metalin kalıba sevk için yüksek basınç kullanılması bu yöntemi diğer döküm yöntemlerinden ayırır. Yüksek basınç nedeniyle kalıptaki ince kesitlerde tamamen dolar. Basınçlı döküm kalıpları sıvı metal her iki kalıp parçasını doldurmaya zorlanırken iki kalıp parçasını yakın ve bir arada tutabilecek şekilde biçimlendirilmesi zorunludur. Basınçlı döküm kalıpları;

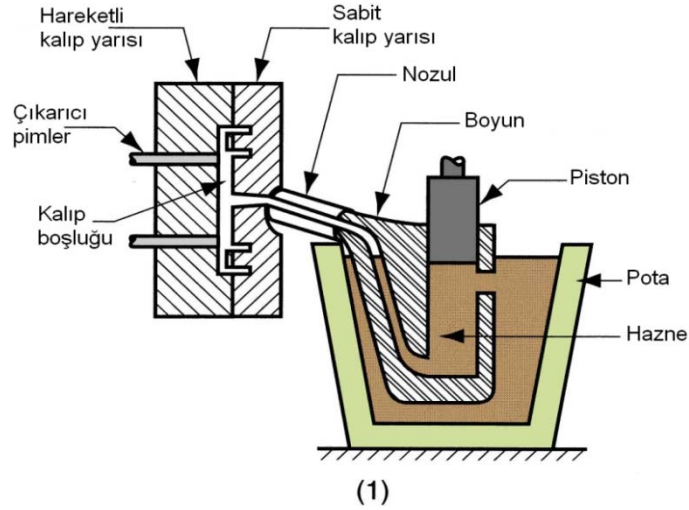
#### 2.3.2.1 Sıcak hazneli döküm makineleri

2.3.2.2 Soğuk hazneli döküm makineleri olmak üzere sınıflandırılır (Gülmez 2010).

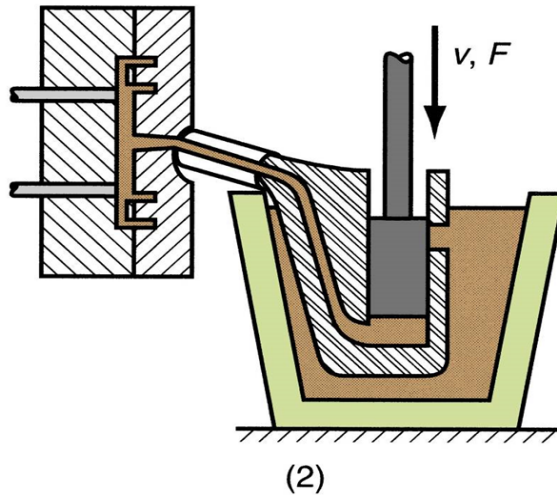


### 2.3.2.1 Sıcak Hazneli Döküm Makineleri

Metal, bir kap içinde eritilerek bir piston marifetiyle kalıba sevk edilir (Şekil 2.23) (Şekil 2.24). Yüksek üretim hızları olan bu yöntemde saatte 500 parça üretmek mümkündür. Uygulama alanı; silindir pistonu ve diğer mekanik aksamları kimyasal olarak etkilemeyecek düşük sıcaklıkta eriyen metaller ile sınırlıdır. Döküm metalleri, çinko, kurşun ve magnezyumla sınırlıdır (Gülmez 2010).



Şekil 2.23: Sıcak hazneli döküm çevrimi. 1) Kalıp kapalı ve piston geride iken erimiş metal hazneye dolar (Gülmez 2010).

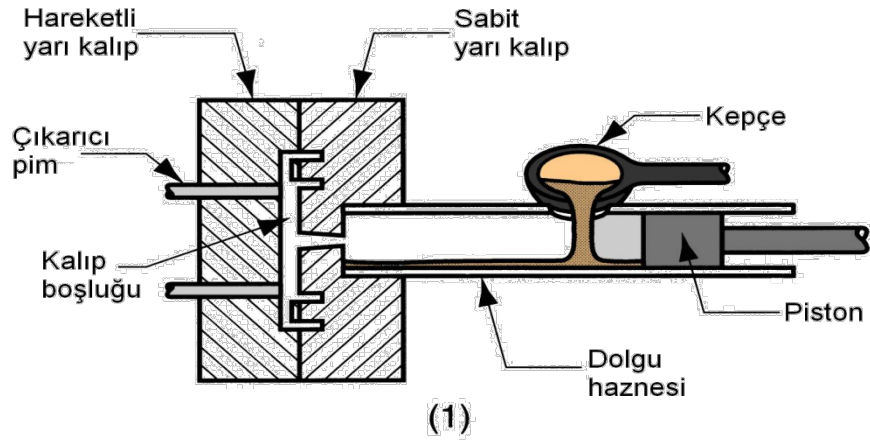


Şekil 2.24: Sıcak hazneli döküm çevrimi: (2) zımba haznedeki metali kalıbın içine akmaya zorlar ve soğuma ve katılaşma sırasında basıncı sürdürür (Gülmez 2010).

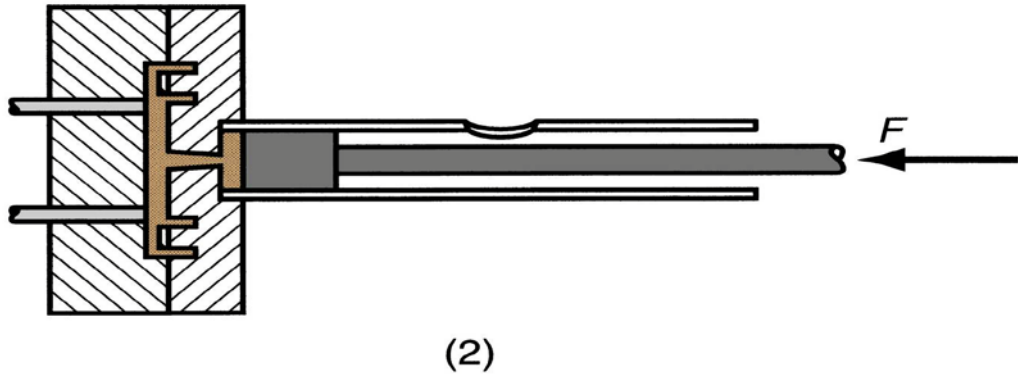
### 2.3.2.2 Soğuk Hazneli Döküm Makinesi

Erimiş metal, potadan kalıp boşluğunu doldurmaya yetecek kadar bir kepçe marifetiyle ısıtılmamış hazneye dökülür ve bir piston metali yüksek basınç altında kalıp boşluğuna sevk eder (Şekil 2.25) (Şekil 2.26). Dökümün elle yapılan aşamaları nedeniyle üretim hızı sıcak hazneli makinelere göre düşüktür.

Döküm metalleri; alüminyum, pirinç ve magnezyum alaşımlarıdır (Gülmez 2010).



Şekil 2.25: Soğuk hazneli basınçlı döküm çevirimi. 1) Kalıp kapalı ve piston geride iken erimiş metal hazneye dökülür (Gülmez 2010).



Şekil 2.26: Soğuk hazneli basınçlı döküm çevirimi. 2) Piston hareket ettirilerek metal kalıp boşluğuna sevke zorlanırken katılaşma sırasında basınç sürdürülür (Gülmez 2010).

### **2.3.2.3 Basınçlı Döküm Kalıpları**

Kalıp, genellikle takım çeliğinden, yada maraging çeliğinden yapılır. Maraging çeliği: Martenzit fazında çeliğin yaşlandırılarak, çökelti oluşturularak sertleştirilmesiyle elde edilen bir çelik türüdür. Karbon oranı maksimum %0,03 olan bu çeliklerde yüksek oranda nikel, kobalt, molibden ve titanyum vardır.

-Askeri sahada Stinger füzelerinin ana metali Maraging çeliğidir.

-Dökme çelik ve demirlerin kalıplanmasında Tungsten ve molibdenli refrakterler kullanılır.

-Açıldığında parçayı çıkarmak için çıkarıcı pimlerle donatılır.

-Yapışmayı önlemek için kalıp boşluğuna yağlayıcılar (örneğin, grafit tozu) püskürtülür.

-Sabit sıcaklıkta çalışma gerektiğinde kalıp ısıtılır ya da suyla soğutulur (Gülmez 2010).

### **2.3.2.4 Basınçlı Dökümün Olumlu ve Olumsuz Yönleri**

#### **1-Olumlu Yönleri Üstünlükleri**

-Yüksek üretim nicelikleri için ekonomiktir.

-Yüksek yüzey kalitesi ve boyutsal doğruluk.

-İnce kesitlerin oluşturulması mümkündür.

-Hızlı soğuma ile ince dane boyutu ve yüksek dayanım elde edilir.

#### **2-Olumsuz Yönleri Zayıflıkları**

-Genellikle düşük erime sıcaklığına haiz metallerle sınırlıdır.

-Parça geometrisi çok karmaşık olmamalıdır. Kalıptan çıkarma zorlaşır (Gülmez 2010).

### **3. MALZEMELERİNE GÖRE DÖKÜMLER**

(Al, Mg, Cu, Cu Alaşımları ve döküm çelik)

#### **3.1 Alüminyum Dökümler**

##### **3.1.1 Basınçlı Döküm**

Çok ince kesitlerde alüminyum parçaların dökümü yapılabilir. Vites kutusu, silindir gömleği, manifold gibi motor parçaları (Makinacı's Blok 2010).

##### **3.1.2 Düşük Basınçlı Döküm Yöntemi**

Sıvı metal kendi ağırlığı ile kalıp boşluğuna doldururken sıvı metale yaklaşık 0,5 (bar-g) uygulanarak yapılan döküm yöntemidir. Silisyum alaşımlı silindir başlıkları, motor blokları bu yöntemle üretilirler (Makinacı's Blok 2010).

##### **3.1.3 Kum Döküm Yöntemi**

Büyük ve karmaşık motor parçalarının üretiminde "alüminyum, kuma döküm yöntemi" uygulanır. Ancak yüzey kalitesi açısından yüzey işleme maliyeti daha yüksektir (Makinacı's Blok 2010).

##### **3.1.4 Cosworth Döküm Yöntemi**

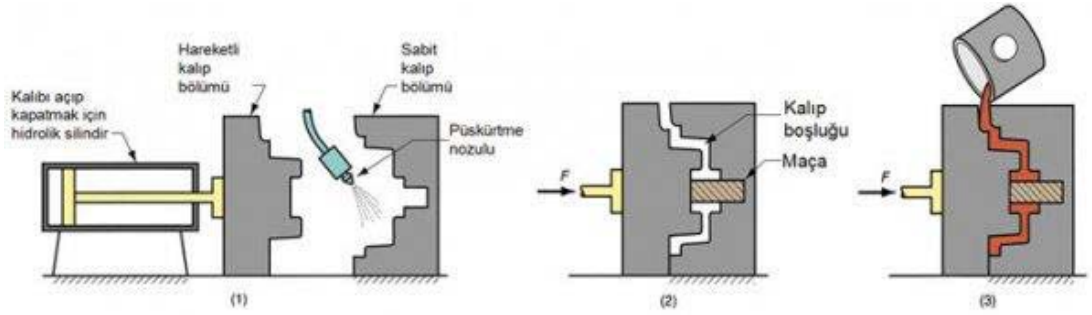
Koruyucu gaz atmosferi altında yapılan "alüminyum döküm üretim yöntemi"dir. Askeri ve hava taşıtları için bu yöntemden yararlanılır (Makinacı's Blok 2010).

### 3.1.5 HVS Yöntemi

Hava taşıtlarının motor bloklarının dökümü için geliştirilmiş bir yöntemdir (Makinacı's Blok 2010).

### 3.1.6 Metal Kalıba Gravite Döküm Yöntemi

Kokil döküm yöntemi otomobil uygulamalarında önemli bir yer tutar. Büyük kütleli alüminyum parçalar bu yöntemle kolayca üretilebilirler. Otomobillerde pistonlar, kompresörler, vites kutuları, manifoldlar, silindir başlıkları gibi parçalar (Şekil 3.1).



Şekil 3.1: Metal kalıba gravite döküm yöntemi (Makinacı's Blok 2010).

### 3.1.7 Karşı Basıncılı Döküm Yöntemi

Gazın karşı basıncından yararlanılarak gerçekleştirilen döküm yöntemi olup otomobil jantlarının üretimi bu yöntemle yapılır (Şekil 3.2).



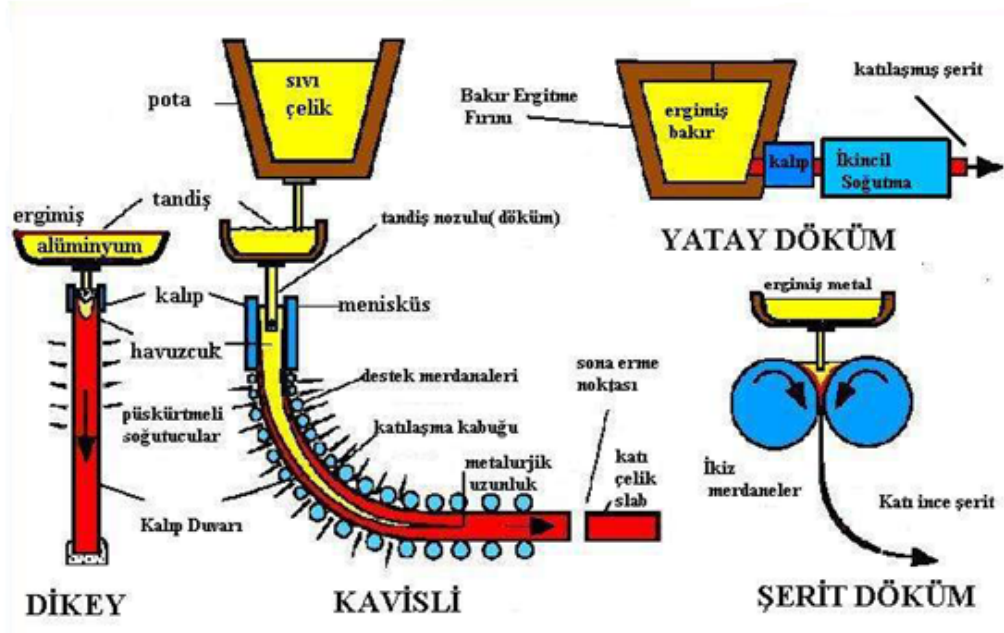
Şekil 3.2: Karşı basınçlı üretilmiş araba jantı (Makinacı's Blok 2010).

### 3.1.8 Düşey Sürekli Döküm Yöntemi

Kalın alüminyum çubukların üretiminde yararlanılan bir yöntemdir. Sürekli döküm yöntemi ile üretilen çubuklardan uçak ve otomobil motor pistonları üretilmektedir (Şekil 3.3) (Şekil 3.4).



Şekil 3.3: Düşey sürekli döküm yöntemiyle üretilen malzemeler (Makinacı's Blok 2010).



Şekil 3.4: Düşey sürekli döküm yöntemi (Erü2016).

### 3.1.9 Hassas Döküm Yöntemi

Hassas ölçülerin gerekli olduğu belirli parçalar için uygulanan bir yöntem olup, dizel motorların girdap odası bu yöntemle üretilir (Şekil 3.5).



Şekil 3.5: Hassas döküm yöntemi (Makinacı's Blok 2010).

### 3.1.10 Dolu Kalıp Yöntemi

Daha düşük tesis ve yatırım maliyeti nedeniyle tercih edilen bir döküm yöntemi olup silindir başlıkları, emme manifoldları gibi parçalar üretilir (Makinacı's Blok 2010).

### 3.1.11 Sıvı Presleme Yöntemi

Liflerle güçlendirilmiş alüminyum parçaların üretiminde bu yöntemden yararlanır. İçten yanmalı motorlarda yanma odaları bu yöntemle üretilmektedir (Şekil 3.6).



Şekil 3.6: Sıvı presleme yöntemi (Makinacı's Blok 2010).

### 3.1.12 Thixforming Yöntemi

Diğer yöntemlerle üretilmeyen yüksek dayanımlı aşınma dayanımı yüksek ince kesitli ve kompakt parçaların üretiminde THIXHOFORMING yöntemi kullanılır. Bu yöntemle frenler, direksiyon kolu ve vites kutuları üretilmektedir. Otomobillerde alüminyum döküm ürünleri olarak genelde motorlar, vitesler (kutuları) ve aks sistemleri kullanılmaktadır (Şekil 3.7).





Şekil 3.7: Thixhoforming yöntemi (Makinacı's Blok 2010).

### 3.2 Magnezyum Döküm Yöntemleri

•Magnezyum genellikle diğer metallerin üretildiği yöntemlerle şekillendirilir. İmalat yönteminin seçiminde malzemedeki beklenen optimum özellikler dikkate alınmalıdır. Bazı özel parçaların şekillendirilmesinde, özel imalat yöntemleri tercih edilebilir.

•Magnezyum ve alaşımlarına uygulanan değişik şekillendirme yöntemleri mevcuttur. Alaşımlara basınçlı ve kum döküm gibi döküm yöntemlerinin yanı sıra, dövme, ekstrüzyon, haddeleme gibi plastik şekillendirme yöntemleri de başarıyla uygulanabilmektedir. Magnezyum için en uygun şekillendirme yöntemi yüksek basınçlı kalıp döküm ve ekstrüzyon yöntemleridir. Magnezyum ve Alaşımlarının Döküm Yöntemleri ile Şekillendirilmesi

•Günümüzde magnezyum ve alaşımlarının döküm yöntemiyle şekillendirilmesinde basınçlı kalıp döküm tekniği hakim olmakla birlikte, kum döküm, hassas döküm, sürekli ve yarı sürekli kalıp döküm gibi diğer basınçlı ve basınçsız döküm yöntemleriyle de şekillendirilebilirler. Son zamanlarda basınçlı kalıp döküm alaşımlarının kullanımı artmıştır. Özel bir parça için döküm yöntemi seçiminde tasarım şekli, arzu edilen mekanik ve yüzey bitirme özellikleri, şekillendirilecek toplam döküm parça adedi ve alaşımların dökülebilirliği

belirleyicidir. Dökümde kullanılacak çok fazla alaşım çeşidi mevcut olmasına rağmen, her alaşım her döküm yönteminde kullanıma uygun değildir.

- Magnezyum döküm alaşımları genellikle, dışarıdan ısı uygulamalı bir çelik (<math>0,12C</math>) potada ergitilir. Çelik pota çok yaygın olarak kullanılır, çünkü magnezyum normal döküm sıcaklıklarında (magnezyum  $650^{\circ}C$  de ergir) çelikle çok yavaş reaksiyona girer. Ergiyik magnezyum prosesi için yaygın uygulama metali aynı anda ergitme ve potadan dökmektir. Kalıptaki demir sıvı magnezyum alaşımı içinde daha az çözüldüğünden, alaşımın kalıba yapışma eğilimi alüminyum alaşımlarına göre daha azdır. Buna bağlı olarak kalıp ömrü alüminyum parçalara kıyasla 2-3 kat daha fazladır.

- Ancak ergiyik magnezyum ve alaşımları,havada oksitlenme ve yanma eğilimindedirler ve bu nedenle ergiyik magnezyum yüzeyleri hava ile oksidasyondan korunmalıdır. Bugün çoğu modern dökümhaneler, hava-kükürt hekzaflorit gaz karışımı (SF) şeklinde bir örtüsüz proses kullanmaktadır.

- Magnezyum ve alaşımlarının kum döküm yöntemiyle şekillendirilmesi çok fazla sayıda alaşıma uygulanabilmekte ve çok değişken boyutlarda parça elde edilebilmektedir. Ancak yöntem, kalıp kumu ve ergiyik magnezyum metali arası reaksiyonlardan dolayı inhibitör kullanımını gerekli kılar. Yüksek adetlerde parça üretimi için uygunken, yüzey bitirme ve tolerans değerleri açısından çok iyi özellikler sağlanamaz.

#### Magnezyum ve Alaşımlarının Döküm Yöntemleri ile Şekillendirilmesi

- Kum döküm yöntemiyle sağlanamayan bu özellikler hassas dökümle sağlanabilir. Ancak hassas döküm yönteminin hem parça başına maliyetleri, hem de ilk yatırım maliyetleri oldukça yüksektir.

- Magnezyum ve alaşımlarının sürekli kalıba döküm yöntemiyle şekillendirilmesinde, kalıbın tekrar kullanılabilmesi maliyetler açısından bir avantaj gibi gözükse de, kalıpların yüksek ilk yatırım maliyetlerinin amortismanı, bir kalıptan alınabilecek parça adediyle sağlanamayabilir. Yüzey bitirme ve boyutsal toleranslar açısından iyi sonuçlar alınırken, çok sayıda alaşım türüne uygulanabilir bir yöntemdir.

•Magnezyum ve alaşımlarının basınçlı döküm yöntemiyle şekillendirilmesi aşağıda verilen ekonomik avantajları sunar;

-Aynı başlangıç malzemesiyle daha fazla ürün elde edilebilmesi,

-Otomasyona uygunluğu yönüyle magnezyum basınçlı döküm yöntemi, yüksek hacimli üretimler için ideal bir yöntem olması,

-Alüminyum ve çeliğe kıyasla çoğu alaşımı yüksek akıcılığa sahip olması nedeniyle, ince cidarlı ve karışık parçaların dökümüne olanak sağlaması, Çeliğe göre üstün dökülebilirliği, parçaların birçok bileşenden ziyade, bütün olarak dökümüne olanak tanınması ve dolayısı ile montaj ve ıskarta maliyetlerinin düşürülmesini sağlaması,

-Alüminyum ve çinkoya kıyasla magnezyum alaşımlarının hacimsel öz ısısı daha düşük olması sebebiyle, dökümün daha hızlı soğuması, daha yüksek çalışma hızı ve daha az kalıp aşınmasına imkan verir.

-Ayrıca,soğuma sırasında kızgın noktaları önlemek için üniform kesit kalınlığı,uygun parça çıkarma açıları,yuvarlak köşeler, takviye edilmiş ince kesitler, kaçınılan düz yüzeyler,mümkün olduğunca büyük yarıçap kullanımı bu yöntemin uygulanması esnasındaki tasarım gerekleri olarak sıralanabilir.

-Magnezyum ve alaşımlarına uygulanan farklı döküm yöntemleri, elde edilen özellikler, üretilebilen parça boyutları, yüksek üretim hacmine uygunluk vb. yönlerden karşılaştırıldığında, yöntemlerin birbirlerine göre üstün ve zayıf yönleri vardır (Akdoğan Eker 2008).

### **3.2.1 Magnezyum Alaşımlarının Basınçlı Dökümü**

Magnezyum alaşımlarının dökümünde en çok kullanılan yüksek basınçlı döküm yöntemidir (Kaçar ve Öztürk 2012).

### 3.2.1.1 Magnezyumun En Önemli Döküm Alaşimleri

Günümüzde en çok kullanılan döküm alaşimleri AZ 91 D, AM 50 A, 60 B. Bunların alaşım içerikleri çizelge 3.1’de verilmiştir (Kaçar ve Öztürk 2012).

Çizelge 3.1: En önemli magnezyum alaşımlarının içerikleri (Kaçar ve Öztürk 2012).

ALAŞIM	AZ 91 D	AM 50 A	AM 60 B
Alüminyum %	8,5-5,3	4,5-5,3	5,6-6,4
Manganez %	0,17-0,3	0,28-0,5	0,26-0,50
Çinko %	0,45-0,9	0,20 max	0,20 max
Silikon %	0,05 max	0,05 max	0,05 max
Bakır %	0,025 max	0,008 max	0,008 max
Nikel %	0,001 max	0,001 max	0,001 max
Demir %	0,004 max	0,004 max	0,004 max
Berilyum %	0,0005-0,0015	0,0005-0,015	0,0005-0,0015
Diğer %	0,01 max	0,01 max	0,01 max

Yukarıda bileşimleri verilen 3 adet Mg alaşımı havacılık ve otomotiv endüstrisinde kullanılan en önemli üç Mg alaşımlarıdır. Bu alaşımlar daha önce anlatılan yüksek basınçlı döküm yöntemiyle helikopter pal dişli kutusu dökümünde, otomotiv endüstrisinde dişli kutuları, direksiyon sistemlerinde, motor gövdelerinde özellikle magnezyumlu kompozit malzeme dökümlerinde basınçlı döküm uygulanmaktadır (Aran 2007).

### 3.2.2 Mg Alaşımlarının Kum Kalıba Dökümü

Mg alaşımlardan ağır parçaların dökümünde uygulanan bir yöntemdir. Bu yöntem havacılık uygulamalarında kullanılmaktadır. Özel olarak Zr (zirkinyum) içeren Mg alaşımları için ilave alaşım elementleri olarak nadir toprak elementleri, iridyum, gümüş ve çinko özel parçalar, 250–300 C sıcaklık aralıklarında iyi sürünme direnci sağlayabilmektedir. Dökme alaşımlar her ne kadar dövme göre

baskın ise de ekstrüzyon, dövme yöntemleri ve sac mamuller ayrıca değişik uygulamalarda kullanılmaya başlanmıştır.

AZ 91 D alaşımının Thiksomolding (Thiksdöküm) yönteminde gözenekliliğin sıcaklıkla değişimi incelenmiş 580–605 C sıcaklık aralığındaki sıcaklarda katı faz içeriği %30'dan neredeyse sıfıra düştüğünde yüksek katı faz içeriğinin ince duvarlı parçalarda gözenekliliği azalttığı ortaya çıkmıştır. Dövme alaşım teknolojileri henüz gelişme aşamasında olup kullanım alanı azdır (Kaçar ve Öztürk 2012).

### **3.3 Bakır ve Alaşımlarının Dökümü**

Bakır ve alaşımlarına da döküm yöntemi uygulanabilmektedir. Ancak bakırın en önemli üç alaşımı esastır. Bunlar;

3.3.1 Bakır-Kalay alaşımı: Bronz

3.3.2 Bakır-Çinko alaşımı: Pirinç

3.3.3 Bakır-Alüminyum alaşımı: Alüminyum bronzudur

3.3.4 Bakır-Nikel alaşımlar.

Bakır alaşımları üstün özellikler gösterir.

-Korozyon dirençleri yüksektir.

-Yüzey görünümleri iyidir.

-Yüksek yataklama yeteneği vardır.

-Buna karşılık bakırın yüksek maliyeti bir dezavantaj olarak ortaya çıkar.

-Bakır alaşımlarının uygulamaları ise;

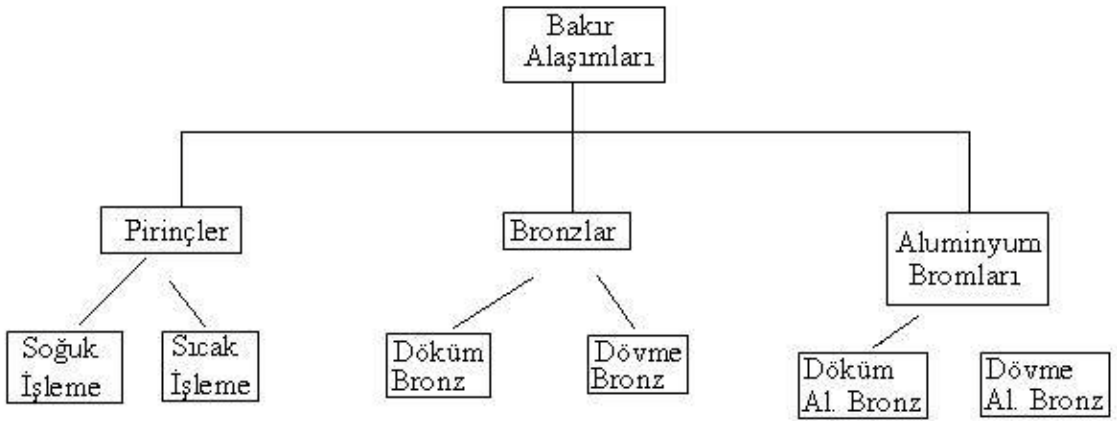
-Boru ek parçaları

-Tekne, gemi uskur kanatları

-Pompa elemanları

- Süs eşyaları
- Yataklama elemanları (Suda çalışan)
- Kondenser (yoğuşturucu) vb. boruları
- Makine parçaları,
- Sonsuz vida çarkları gibi

Bakır alaşımları bütün kalıplama yöntemleriyle dökülebilir (Kaçar ve Öztürk 2012).



### 3.4 Bakır Alaşımlarının Sınıflandırılması

Dövme bakır alaşımları

Döküm bakır alaşımları olarak iki grupta sınıflandırılır.

#### 3.4.1 Dövme Bakır Alaşımları

Soğuk ve sıcak olarak dövme ve haddeme yöntemiyle talaşsız olarak şekillendirilebilir. Saçlar, borular, çubuklar, profiller ve teller bu gruptaki bakır ve teller bu gruptaki bakır ve alaşımları ürünleridir. Bu grupta dövülebilen ve haddelenebilen alaşım ve elementler aşağıdadır.

- a-Saf bakır
- b-Bakır-Çinko alaşımları (Pirinçler)
- c-Bakır-Çinko-Kurşun alaşımları (Kurşunlu pirinç)
- d-Bakır-Çinko-Kalay alaşımları (Kalay bronzları)
- e-Fosfor Bronzlar
- f-Bakır-Alüminyum alaşımları (Alüminyum bronzları)
- g-Bakır-Silisyum bronzları (Silisyum bronzları)
- h-Bakır-Nikel ve Cu, Ni ve Zn alaşımları (Nikel gümüşü) (Akdoğan Eker 2008).

### **3.4.2 Döküm Bakır ve Alaşımları**

Uygun döküm özellikleri haizdir. Bu alaşımlar döküm parçaları için kullanılır.

Bu grupta dökülebilen alaşım ve elementler;

- a-Döküm bakırı
- b-Değişik türde döküm pirinçleri
- c-Döküm Manganez-Bronz alaşımları
- d-Döküm Cu-Zn-Si alaşımları
- e-Döküm Bakır-Kalay alaşımları
- f-Döküm Bakır-Kalay-Kurşun alaşımları
- g-Döküm Bakır-Alüminyum alaşımları
- h-Döküm Cu-Ni-Zn ve Döküm-Bakır-Çinko alaşımları

Çizelge 3.2: Çeşitli bronz ve alaşım elemanlarının erime sıcaklıkları.

	Bronz °C	Alaşım Elemanları	
		Erime Sıcaklığı °C	
Bakır Bronzu	1020	Cu 1083	Sn 232
Alüminyum Bronzu	600-655	Cu 1083	Al 660
Kırmızı Pirinç	1000	Cu 1083	Zn 420
Pirinç Sarı	930	Cu 1083	Zn 420

### 3.5 Döküm Çelikler

Çelik Nedir: Demirin karbonla yaptığı Fe<sub>3</sub>C bileşiği demire çelik özelliğini kazandıran demir karbon bileşiğidir. Sementit adı verilen bu bileşiğin yanında karbonlu çelik normal olarak sağlanamayan özelliklerin bir veya birden çok alaşım elementi ilave etmek suretiyle üretilen çelikler alaşımlı çeliklerdir. Alaşım elementlerini diğer metallerle göre en çok çelik yapısında etkilidir. Ayrıca alaşım elementlerinin etkileri toplanabilir olmadığı için çok sayıda alaşım elementinin bir arada bulunması durumunda beklenen özellik değişimleri genel çerçevede ele alınabilir. Bu anlamda çelik özelliklerine alaşım elementlerinin etkisi ile ilgili genel bir yaklaşımda bulunulamaz.

Alaşımlı çelikleri bileşen sayılarına göre;

a-Düşük alaşımlı çelikler: bileşen sayısı  $\leq 5$

b-Yüksek alaşımlı çelikler: bileşen sayısı şeklinde iki ana grupta sınıflandırılırlar.

Alaşımsız çeliklerle benzer davranış gösteren düşük alaşımlı çeliklerin en belirgin özelliği SERTLEŞME YETENEĞİNİN DAHA YÜKSEK OLMASIDIR. Bunun dışında sertlik, çekme dayanımı, akma sınırı, elastisite modülü gibi dayanım özellikleri ile ısıya dayanım, meneviş dayanıklılığı vb. karakteristik özellikleri artarken, kopma uzaması, kesit daralması, çentik, darbe dayanımı gibi değerlerde genellikle azalma olur.



Alaşımsız ve düşük alaşımlı çeliklerde istenilen özelliklerin bulunmaması ya da yetersiz olması durumunda YÜKSEK ALAŞIMLI ÇELİKLER kullanılır.

Yüksek alaşımlı çeliklerde normal sıcaklıklardaki mekanik özelliklerinin artırılmasının yanı sıra, özellikle sıcağa, tufalleşmeye, korozyon dayanımına, sıcaklıkta sertlik ve mıknatıslanmama gibi bazı istenen özelliklerin elde edilmesi amaçlanır (Haddemetal 2015).

### 3.5.1 Karbonlu Çelikler

Mn ve Si gibi alaşım elementlerinin biri veya her ikisinin bulunmadığı, var ise de bileşen yüzdelerinin  $Mn < \%1,65$ ,  $Si < \%0,60$ 'dan az olduğu çelikler **Karbon çeliği** olarak adlandırılırlar. Yukarıda anlatılanlar dışında başka bir alaşım elementinin bulunmaması bu çelik grubunun en belirgin özelliğidir (Haddemetal 2015).

### 3.5.2 Alaşımlı Çelikler

Karbonlu çeliklerle elde edilemeyen fiziksel özelliklerin kazanılabilmesi için bir veya birden fazla alaşım elementinin eklenmesiyle elde edilen çelikler **alaşımlı çelikler** olarak adlandırılırlar. Alaşım elementlerinden  $Mn > \%1.65$ ,  $Si \% 0.6$  dan fazla alaşım elementi içeren çelikler bu grupta sınıflandırılır. Alaşım elementleri genellikle: Al, B, Cr, Co, Mo, N, Ni, Ti, W, Zr gibi elementlerin birinin veya birkaçının bulunması istenen çelikler **alaşımlı çelikler** grubundandır.

Alaşımlı çeliğin bünyesindeki alaşım elementlerinin alt ve üst sınır değerleri arasındaki fark çok az olup, alaşım elementi sayısı arttıkça alınacak dökümlerde uygun olmayanların sayısı beklenenin üzerinde artar. Alaşımlı çelik ingot ve kütüklerinin gerek dış yüzeyinde gerekse iç bünyesinde oluşması olasılık dahilinde iç çatlamların engellenmesi için özel kuyu ocaklarında kontrollü olarak yavaşça soğutulmaları zorunludur. Bunun dışında haddeleme ve dövme işlemlerinden önce son olarak hatalar giderilir. Bu nedenlerden dolayı alaşımlı çelik üretimi karbonlu çelik üretiminden daha zordur (Haddemetal 2015).

### 3.5.2.1 Çelik Alaşım Elementleri ve Etkileri

#### a-Karbon(C):

Karbon çelikte en temel sertleştirici elementtir. Karbon yüzdesindeki her artış çeliğin sıcak haddelenmiş ya da normalize edilmiş halindeki sertlik ve çekme dayanımını yükseltir. Ancak esneklik, dövülme, kaynaklanabilme ve kesilme özelliklerini düşürür.

#### b-Mangan:

Mangan çeliğin dayanımını attırırken esnekliğini bir miktar düşürür. Dövülebilme ve kaynaklanabilme özelliklerine olumlu yönde etki eder. Manganın sertlik ve dayanım özelliklerini artırma etkisi, karbon miktarına bağlıdır. Manganın yüksek karbonlu çeliklerdeki etkisi, düşük karbonlu çeliklere göre daha fazladır. Mangan su verme derinliğinin etkisini artırır. Paslanmaya, korozyona olan dayanımını geliştirir.

#### c-Silisyum:

Silisyum çelik dökümlerde fiziksel dayanımı ve özgül ağırlığı artırır. Silisyum, mangan gibi bütün çeliklerde bulunan bir elementtir. Çelik yapımında demir cevherinden ve ocak astarından bir miktar silis çeliğin bünyesine kendiliğinden girer. **Silisyumlu çelikler** deyimi bileşiminde bulunan silisyum niceliği  $Si > 0,4\%$  dan fazla olan çeliklerdir. Çelikte silisyum varlığı esnekliği negatif yönde etkilese de her %1 artış için çekme dayanımını 10 (kg/mm<sup>2</sup>), akma dayanımını da aynı oranda artırır.

%1,4 aralığında silisyum bulunan çelikler kimyasal tepkimelere karşı dayanıklı olduklarından bu durumdaki çelikler dövülme yeteneklerinden yoksundur.

#### d-Fosfor:

Genel olarak varlığı çeliklerde zararlıdır. Yüksek nitelikli çeliklerde fosfor en fazla %0,03 ile %0,05 arasında olmalıdır.

### **e-Kükürt:**

Kükürt çeliği kırılma hızını artırır ve haddelenmesini güçleştirir. Çeliğin işlenebilirlik özelliğinin artırılmasının söz konusu olmadığı durumlarda fosfor gibi istenmeyen yabancı maddeler olarak değerlendirilen bir elementtir. İzin verilen kükürt oranı en çok %0,025 ÷ %0,050 arasındadır.

### **f-Krom:**

Krom çeliğin dayanımını arttıran buna karşılık esnekliğini eksi yönde çok az azaltan bir alaşım elementidir. Krom çeliğin sıcaklığa dayanımını artırır. Kabuklanmayı tufallenmeyi engeller. İçinde yüksek oranda krom varlığı çeliğin paslanmazlık özelliğini artırır. Kromlu paslanmaz çeliklerde krom oranı arttıkça kaynak edilebilirlik özelliği krom karbür çökmesi nedeniyle azalır. Krom dengesi çabuk bozulmayan karbürü oluşturur. Çelikteki her %1 krom artışına karşılık çekme dayanımında 8-10 (kg/mm<sup>2</sup>) artış sağlanır. Aynı oranda olmamakla beraber akma dayanımı artarsa da çentik dayanımında azalma gözlenir.

### **g-Nikel:**

Çeliğin dayanımını silisyum ve mangana oranla nikel daha az artırır. Çelikte nikel kromla birlikte olduğunda yüzey sertliğinin derinliğini artırır. Krom nikel çelikler paslanmaz ve kabuklanmaya, ısıya dayanımlı çeliklerde özellikle düşük sıcaklıklarda makine yapım çeliklerinin çentik dayanımlarını artırır. Nikel ıslah ve sementasyon çeliklerinin dayanımını arttırdığı gibi, istenen yapıdaki çelikler, paslanmaya ve tufallenmeye dayanıklı çelikler için uygun bir alaşım elementidir.

### **h-Molibden:**

Molibden çeliğin özellikle çekme dayanımının yanısıra ısıya dayanım ve kaynaklanabilirlik özelliğini yükseltir. Yüksek molibden oranı çeliğin dövülebilirlik yeteneğini azaltır. Kromla birlikte daha çok kullanılan bir alaşım elemanı olup Volframla benzer etkileri kazandırır. Alaşım çeliklerde molibden, krom ve nikel birlikte kullanılırsa akma ve çekme dayanımı artar. Molibden kuvvetli karbür oluşturduğundan hava ve sıcak iş çeliklerinde östenitik, pas dayanımlı çeliklerde

sementasyon, makine yapım çelikleriyle ısıya dayanıklı çeliklerin üretiminde kullanılan bir elementtir.

#### **ı-Vanadyum:**

Vanadyum çok düşük miktarlarda kullanıldığında çeliğin sıcaklığa dayanımını yükseltir. Vanadyum alaşımlı yapı çeliklerinde, tane yapılarının incelmelerini ve fiziksel özelliklerinin gelişmesini sağlar. Aynı zamanda çelik kesici takımların daha uzun süre keskin kalmasını sağlar. Genellikle alaşımlarda vanadyum oranı %0,03 ÷ %0,25 oranı arasındadır. Karbür oluşturmaya karşı kuvvetli bir eğilimi vardır. Çeliğin akma ve çekme dayanımlarını yükseltir. Makine yapım ve sıcak iş takım çeliklerinde özellikle vanadyum, krom, hava ve makine yapım çeliklerinde volframla birlikte kullanılır.

#### **j-Volfram (Tungsten):**

Çeliğin dayanımını arttıran bir alaşım elementi olan volfram, takım çeliklerinde kesici kenar sertliklerinin artmasına, kullanım ömrünün uzamasına ve yüksek sıcaklığa dayanımını sağlar. Bu yönden hava çeliklerinde, takım çeliklerinde, ıslah çeliklerinde kullanılan yaygın bir alaşım elementidir. Çelikte volframın varlığı belirli yüzdelere kadar kaynaklanabilirliği artırır. Çeliğe eklenen beher volfram yüzdesi çekme ve akma dayanımını 4 (kg/mm<sup>2</sup>)'ye kadar artırır. Volfram karbür oluşturmaya kuvvetli bir eğilim gösterir. Yüksek çalışma sıcaklığında çeliğin menevişlenip sertliğini kaybetmemesini sağladığından sığa dayanıklı çelik üretiminde öncelikli elementlerdendir.

#### **k-Niyobyum:**

Tane inceltici etkiye sahip bir element olup, akma sınırını yükseltir. Kuvvetli karbür yapıcı özelliği nedeniyle çeliğin sertliğini yükseltir.

#### **l-Titanyum:**

Kuvvetli karbür yapıcı özelliğiyle çeliğin sertliğini artırır. Çelik üretimi sırasında DEOKSİDAN olarak kullanılır. Tane inceltici etki gösterir.

**m-Kobalt:**

Yüksek sıcaklıklarda tane büyümesini yavaşlattığından hız çeliklerine ve sıcağa dayanıklı çeliklerin alaşım elementidir.

**n-Alüminyum:**

En güçlü deoksidan'dır. Isıtma da tane kabalaşmasını ve yaşlanmayı azaltır. Tane inceltici özelliği vardır.

**o-Bor:**

Düşük ve orta karbonlu çeliklerde sertleşebilirliği yükselten en önemli bileşendir. Sakinleştirilen çeliklere %0,0005 ÷ %0,003 oranında eklenir.

**p-Bakır:**

Sıcakla şekillendirmede kırılma eğilimi arttırdığından %0,5 oranı aşılmaz. Sünekliği ciddi oranda düşürmesine karşın korozyon dayanımını ve sertliği arttırdığından alaşım elementi olarak eklenir.

**r-Azot:**

Nitrür oluşturarak sertliği artırır. Nitrürasyon ile 1100 VSD sertlik elde edilebilir. Mekanik dayanım ve korozyon direncini arttırmasına karşın yaşlanma oluşturur (Haddemetal 2015).

## **4. DÖKÜM HATALARI VE ALINMASI GEREKEN ÖNLEMLER**

### **4.1 Döküm Hataları**

#### **4.1.1 Döküm Hatalarının Oluş Nedenleri**

Döküm parçalarda istenmeyen, doku, boyut, şekil değişiklikleri ve diğer bazı istenmeyen olumsuzlukların varlığı halinde eldeki parça hatalı döküm olarak adlandırılır. Hatanın derecesine bağlı parçamızın çalışacağı koşullar göz önünde tutularak mümkünse onarılır ya da hurdaya ayrılır. Hatalı parçada bir veya birden çok hata aynı anda bulunabilir. Döküm hatalarının oluş nedenleri iyi belirlenirse çözüme kolayca ulaşılır. Hataların nedenleri aşağıda anlatılan konular taranarak bulunabilir.

a-Döküm parçada tasarım yanlışlığı

b-Hatalı model ve maça sandığı

c-Yolluk sistemi, besleyici, soğutucu, çıkış sistemi hataları

d-Uygun olmayan kalıp ve maça kumu

e-Maça ve kalıplama yapım tekniği hatası

f-Uygun olmayan sıvı metal bileşimi

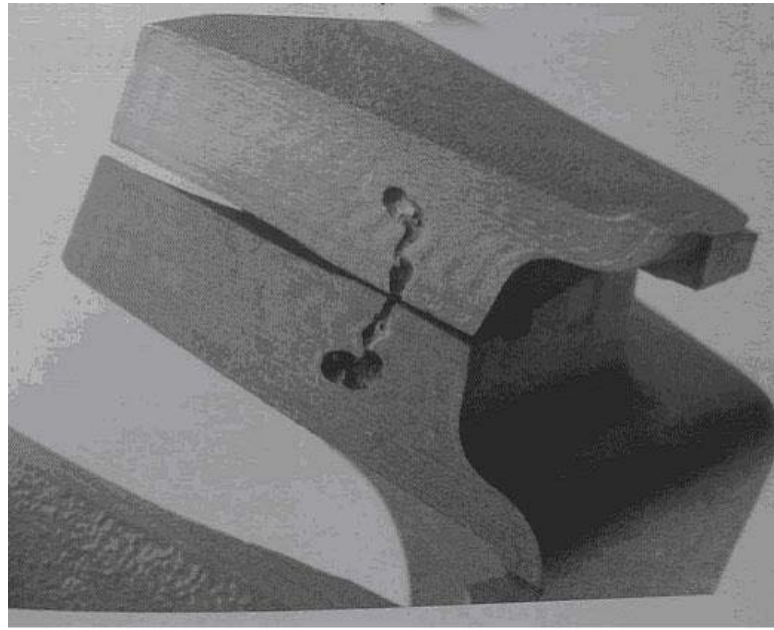
g-Ergitme ve döküm tekniği hatası.

### **4.2 Döküm Hatalarının Türleri**

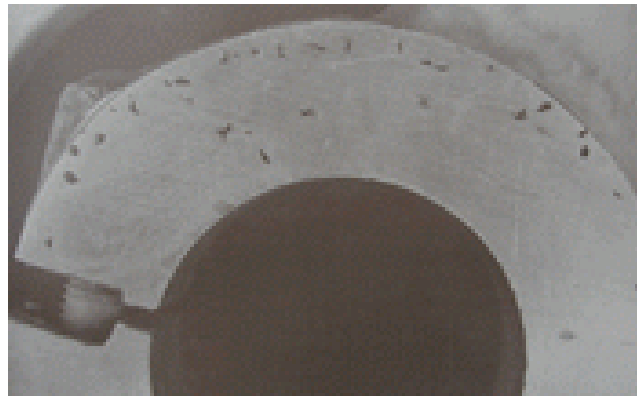
Çok değişik döküm hataları ile karşılaşılan döküm tekniğinde aşağıda belirtilen hatalar en çok görülenlerdir.

#### 4.2.1 Gaz Boşlukları

Döküm anında oluşan ve dışarı atılamayan gazlardan ortaya çıkar (Şekil 4.1) (Şekil 4.2). Daha çok dökülen parçanın üst yüzeyinde görülebilir. Bunun yanında nadiren döküm parça tabanı ve içinde görülebilir. Gaz boşluklarının küçük boyutları karınca-gözenek, büyük boyutluları kofluk olarak adlandırılır. Genellikle gaz boşluklarına maça çevreleri ve soğutucu konulan yerlerde rastlanılır. Dökümden sonra dikkatli incelirse gözle bile belirlenir. Ancak çoğunluklu işleme anında ortaya çıkar (American Foundrymen's Society publication 2014).



Şekil 4.1: Gaz boşluğu-kofluk (Harran Üniversitesi 2016).



Şekil 4.2: Karınca-gözenek hatası (Harran Üniversitesi 2016).

#### **4.2.1.1 Gaz Boşluklarının Oluş Nedenleri**

- a-Yüksek nemli kalıp kumu
- b-Giderilmemiş kalıp havası
- c-Kurutulmamış maça
- d-Uygun olmayan yüksek-düşük sıvı metal sıcaklığı
- e-Fazla sıkıştırılmış kalıp
- f-Kalıba sıcak yerleştirilmiş maça
- g-Sıcak kapatılmış kalıp
- i-Kalıplamada kullanılan çivi, soğutucu ve maça desteklerinin yağlı, paslı ve nemli olması durumu
- j-Döküm yolluğunun yeterli yükseklik ve çapı haiz olmaması
- k-Uygun olmayan sıvı metal bileşimi
- l-Isıtılmamış ve iyi kurutulmamış taşıma potaları
- m-Sıvı metal döküm hızının çok hızlı veya yavaş olması.

#### **4.2.1.2 Gaz Boşluklarının Önlenmesi İçin Yapılması Gerekenler**

a-Kalıp kumu iyice kurutulmalıdır. Kurutma kalıplamadan sonra yapılır. Kurutma sıcaklığı organik ve inorganik bağlayıcıların bu özelliklerinin yitirildiği sıcaklığı aşamaz. Genellikle 100-105(°C) sıcaklık uygundur. Hava akımının söz konusu olduğu kurutmalarda hava bileşimindeki su buharının kısmi basıncına karşılık gelen sıcaklıkların 5 ÷ 10 (°C) üzerindeki hava sıcaklığı uygundur.

b-Giderilmiş kalıp havası. Havanın giderilmesi iki yöntemle sağlanır.

1-Kalıbın ısıtılması ve gaz kaçış yolluklarının düzenlenmesi. Şişleme vb.

2-Vakumla kalıp havasının alınması



c-Maçaların kurutulması, madde a' da belirtilen kurallar geçerlidir.

d-Uygun olmayan metal sıcaklıkları

1-Yüksek sıcaklık: Kalıpta bulunan organik ve inorganik bağlayıcıları hızla bozundurur ve gazlaşma hızı kalıp doldurma hızını aştığında aşırı gaz yoğunluğu oluşur.

2-Düşük sıvı metal-sıcaklığı ise hızlı katılaşma nedeniyle oluşan gazların sistemden uzaklaşmasını önler.

e-Fazla sıkıştırılmış kalıp: Kalıp kumunu gözenekliliğini dolayısıyla gaz geçirgenliğini azaltır, anılan hatalara neden olur.

f-Kalıba sıcak yerleştirilen maça soğuk olan yerlerde ortaya çıkardığı su buharının yoğunlaşması nedeniyle döküm anında bu nemler hızla buharlaşır ve istenmeyen boşlukları oluşturur.

g-Sıcak kapatılmış kalıp, soğuk olan yerlerde terlemeye neden olur.

h-Derece traversleri, kancalar, firketelerin kalıp yüzeyine yakınlığı ise homojen ısınmayı veya soğumayı engeller. Farklı gaz veya buhar hızı oluşumunu etkiler.

i-Paslı, yağlı çivilerde sıvı metalin oksijeni, ayrıştırması ve yağı buharlaştırması söz konusudur.

j-Döküm yolu yüksekliği kalıbın tam dolabilmesi için gerekli statik basıncı sağlar, dar olması ise gaz kaçışını önler.

k-Uygun olmayan sıvı metal bileşimi ise sıvı katı faz ayrışmasına nedendir.

l-Isıtılmamış veya kurutulmamış pota erken katılaşma ve sıvı metalin gaz absorpsiyonuna neden olur.

-Sıvı metal hızının yüksekliği gaz kaçışını, düşüklüğünü ise lokal katılaşmalara, boşluklara sebep olur (American Foundrymen's Society publication 2014).

## 4.2.2 Çukurluklar, Çizgiler, Pullar

Kalıp boşluğundan atılamayan gazların yerini sıvı metal dolduramaz ve burada çukurluklar ortaya çıkar. Kalıp içerisinde gaz basıncından dolayı iş yüzeyinde soğuk birleşme görüntüsü veren çizgiler oluşur. Bu hataların tamamı yüzey hatasıdır. Sıvı metal gaz basıncının bıraktığı çukurluklara girerek pullar oluşturur.

### 4.2.2.1 Oluşum Nedenleri

- a-Sıvı metalin kesik dökülmesi
- b-Üst derecenin sarkması
- c-Yolluk sisteminde meme sayısı azlığı
- d-Kalıp kumunun düşük gaz geçirgenliği
- e-İyi giderilmemiş kalıp havası
- f-Düşük dayanımlı kalıp kumu
- g-Düşük gaz geçirgenli maça kumu
- h-İyi alınmamış maça havası
- i-Çok sıkıştırılmış kalıp kumu
- j-Gereksiz ve aşırı yapılmış perdah
- k-Kötü akıcılıklı sıvı metal
- l-Soğuk cürüflu ve gazlı sıvı metal
- m-Fazla yüklenmiş kalıp ağırlığı
- n-Kalıbın forsa yapması.

#### 4.2.2.2 Hataların Önlenmesi

a-Sürekli-kesiksiz döküm yapılmalı

b-Üst derecenin sarkmasını engelleyici önlemler, örneğin derece içine karşıdan karşıya taşıyıcı teller oluşturulması

c-Meme sayısı arttırılarak uygun gaz-kaçış kısıtı oluşturulmalıdır.

d-Aşırı bağlayıcı kullanımı ve çok sıkıştırılmış kalıp uygun değildir.

e-Kalıp havası belirli bir vakum değerine kadar emilmelidir.

f-Dayanımı düşük kalıp kumu forsa vb. ne neden olur.

g-Uygun geçirgenlikli kum kullanılmalıdır.

h-Maça havası en az %30 ÷ %40 vakuma kadar inilerek alınmalıdır.

i-Çok fazla sıkıştırma yapılmamalıdır.

j-Perdah-sıvazlama yüzeyin geçirgenliğini azaltır. Dikkat edilmeli.

k-Sıvı metal sıcaklığı ve bileşeni iyi ayarlanmalıdır.

l-Soğuk cüruf, potada iken cüruf oluşturucularla ayrılmalıdır.

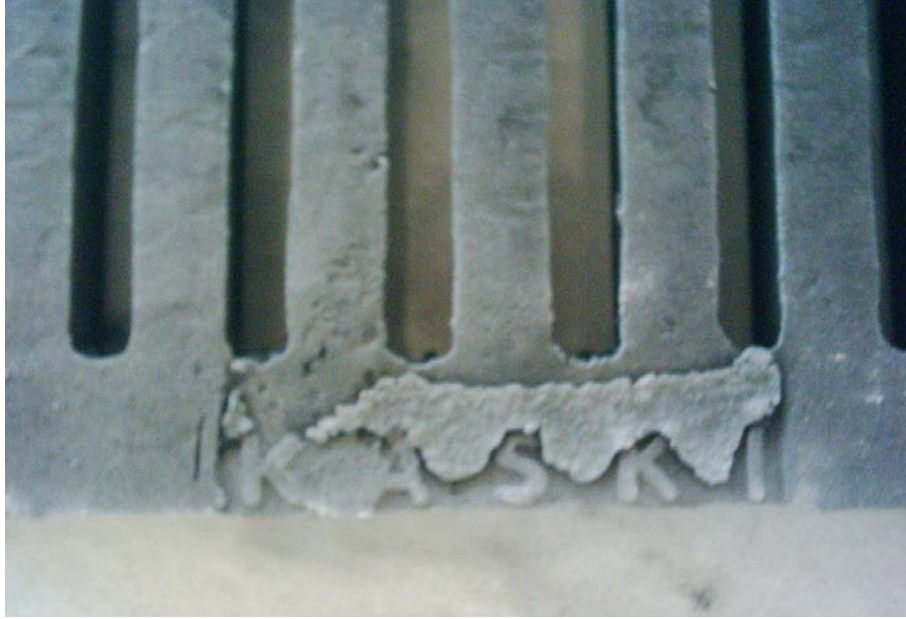
m-Aşırı yüklenmiş kalıp bileşim aralığında gaz kaçırmayı önler.

n-Forsa yapmayı engellemek için yeterli ve uygun bağlayıcı ve yüksek dayanımlı kalıp kumu seçilmelidir (American Foundrymen's Society publication 2014).

#### 4.2.3 Dart

Sıvı metal kalıp içindeki havayı ısıtarak genişletir (Şekil 4.3). Kalıptaki yanıcı maddelerin oluşturduğu gaz ve su buharı bunlara eklendiğinde kalıp içi basıncı yükselir. Bu basınç etkisiyle sıvı metal kalıp içinde çalkalanır. Bu esnada bazı parçalar kalıptan koparak yer değiştirir. Kalıp kumu kalıp içine doğru genişler sıvı metal kalkan kum parçalarını çevreleyerek katılaştır. Çalkantıyla kopan kum taneleri

sıvı metal yüzünde yükselerek üst derecede toplanır. Dart bir yüzey hatasıdır. Sıvı metalin kum arasına girmesiyle oluşan dartlar bir keski marifetiyle kolayca temizlenebilir. Dart hatası daha çok kalın kesitli ve büyük yüzeyli döküm parçaların yanında ince kesitli döküm parçalarda da görülebilir (American Foundrymen's Society publication 2014).



Şekil 4.3: Dart hatası (Harran Üniversitesi 2016).

#### 4.2.3.1 Dart'ın Oluş Nedenleri

a-Derece federlerinin kalıp boşluklarına aşırı yakınlığı

b-Yetersiz meme sayısı

c-Uygun yerden verilmeyen yolluklar

d-Aşırı, nemli kalıp kumu

e-Hatalı kalıp kumu bileşeni

f-Düşük geçirgenlikli kalıp kumu

g-Aşırı sıkıştırılmış kalıp kumu

h-Kalıp yüzeyine çok yakın firkete ve kancalar

j-Aşırı perdahlanmış kalıp yüzeyi

g-İyi alınmamış kalıp havası

k-Kalıp boyasının kalitesi ve kalın olması

l-İyi kurutulmamış maça

m-Uygun olmayan sıvı metal hızı

n-Aşırı yüksek sıvı metal sıcaklığı

#### **4.2.3.2 Dart'ın Önlenmesi Yöntemleri**

a- Yakın feder esnek yanal yüzey oluşturur ve kumu döker

b- Gaz geçirgenlik tahliye hızı düşükse, artırılmalıdır.

c- Uygun olmayan yolluklar gaz cepleri oluşturur

d-Kurutulmamış kalıp kumu gaz-buhar niceliğini artırır.

e-Hatalı kalıp bileşeni bağlayıcıya rağmen dökülür

f-Gaz geçirgenliği az olduğundan; gaz birikmesi ve kalıp iç basıncının artmasına neden olur. Çalkantıları ortaya çıkarır

g-Aşırı sıkıştırılmış kum kötü gaz tahliyesi ve aşırı kalıp iç basıncıdır

h-Yakın firkete ve kancalar uzaklaştırılmalıdır

i-Perdah azaltılmalı yeterli gaz kaçış gözeneği bırakılmalı

j-%30-%40 Vakuma inilerek hava tahliye edilmelidir

k-Kötü ve kalın boya yanma sonucu aşırı gaz oluşturur

l-Kurutulmamış maça aşırı gaz üretir

m-Hava hapsine neden olur

n-Aşırı sıcaklık var olan gaz hacmini artırarak aşırı basınç ve çalkantılara neden olur (American Foundrymen's Society publication 2014).

#### **4.2.4 Kopma ve Sürüklemeler**

Sıvı metal kalıba girerken kumu kopararak sürükler ve bu hata ortaya çıkar. Kalıp içinde sıvı metalin akışını zorlaştıran kesitlerde daha çok görülür

Kalıp içinde oluşan gazların tahliyesinde çıkışa ve besleyiciye doğruya oluşan hareketler kalıp içinde çıkıcı ve besleyici birleşiminde kumların kopmasına neden olur.

##### **4.2.4.1 Oluş Nedenleri**

a-Döküm parçada gereksiz ve çok sayıda girinti ve çıkıntının varlığı

b-Hatalı yolluk sistemi

c-Yetersiz meme sayısı

d-Aşırı nemli kalıp kumu

e-Yetersiz dayanımlı kalıp kumu

f-Yanıcı madde varlığının fazlalığı

g-Zayıf maça kumu bağlayıcıları ve aşırı pişirilmiş maça

h-Yetersiz geçirgenlikli maça

l-Kötü kurutulmuş maça

j-Az veya aşırı sıkıştırılmış kalıp yüzeyi

k-Geniş yüzeylere yetersiz çivi atımı

l-Yüksek sıvı metal sıcaklığı

m-Hızlı ve yüksekte dökülen sıvı metal

#### **4.2.4.2 Kopma ve Sürüklenmenin Önlenmesi**

a-Döküm parça geometrisinin gereksiz çıkıntılardan arındırılması

b-Düzgün yolluk sistemi oluşturulması

c-Uygun meme sayısı oluşturmak

d-Kalıp kumunun ve kalıbın kurutulması

e-Uygun dayanımlı kum seçimi

f-Yanıcı madde varlığını azaltmak

g-Uygun bağlayıcı seçimi ve uygun pişirme

h-Uygun geçirgenlikli maça kumu seçimi

i-Uygun kurutulmuş maça

j-Uygun sıkıştırılmış kalıp yüzeyi eldesi

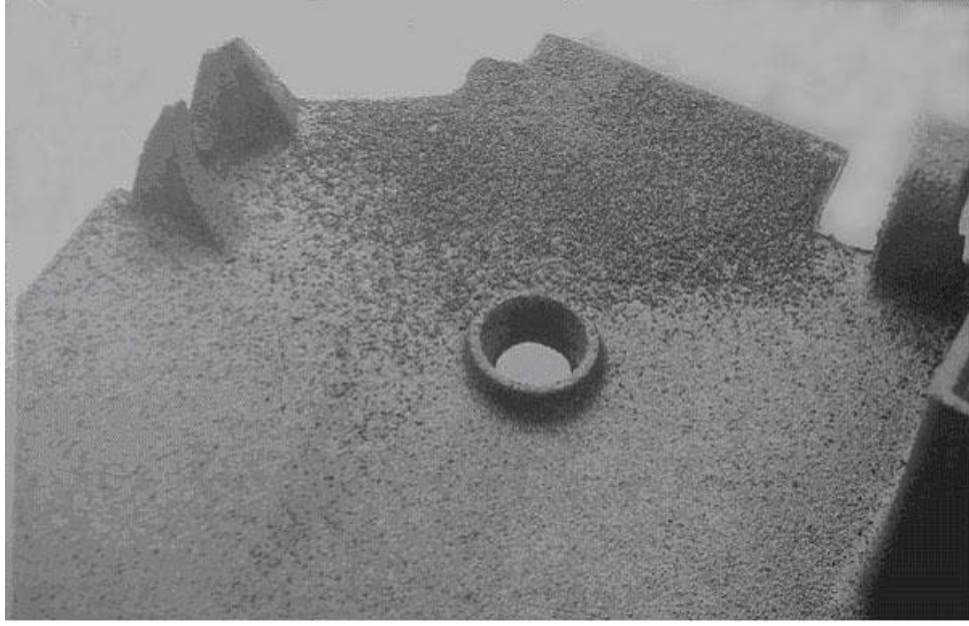
k-Uygun sayıda çivi ve destek pimi atılması

l-Uygun sıvı metal sıcaklığı

m-Döküm hızı ve yüksekliğini düşürmek (American Foundrymen's Society publication 2014).

#### **4.2.5 Sıvı Metalin Kuma İşlemesi**

Sıvı metalin kalıp yüzeyindeki kum taneleri arasına girerek katılması sonucu ortaya çıkar (Şekil 4.4). Metal içinde kalan kum tanecikleri pürüzlü bir yüzey oluşturur. Bu bir yüzey hatası demektir. Döküm yüzeyinin dış görüntüsünü olumsuz etkiler. Aynı döküm yüzeyinin farklı yerlerinde düz ve pürüzlü yüzeyler ortaya çıkabilir.



Şekil 4.4: Sıvı metalin kuma işleme (Harran Üniversitesi 2016).

#### 4.2.5.1 Metal İşlemesinin Oluş Nedenleri

- a-Keskin köşeli ve aşırı girintili çıkıntılı döküm parçası
- b-Hatalı yolluk sistemi
- c-Hatalı seçilmiş iri taneli kum
- d-Gevşek sıkıştırılmış kalıp
- e-Kalıp kumu bileşiminde yetersiz kömür tozu
- f-Kalıp yüzeyine grafit tozu serpilmemesi
- g-Boyanmamış kalıp
- h-Yumuşak ve yetersiz pişirilmiş maça
- l-Yüksek sıcaklıklı sıvı metal
- j-kalıpta iyi sıkıştırılmamış girinti ve çıkıntılarının varlığı.



#### 4.2.5.2 Metalin Kuma İşlemesinin Önlenmesi

a-Yuvarlatılmış ve girinti çıkıntısı azaltılmış döküm parça geometrisinin seçimi

b-Uygun yolluk sisteminin düzenlenmesi

c-Uygun boyutlu kalıp kumu seçimi

d-Uygun sıkıştırılmış kalıp

e-Kalıp kumunda yeteri kadar kömür tozu

f-Yüzeğe grafit tozu serpilmesi

g-Kalıbın uygun kaliteli boya ile uygun kalınlıkta boyanması

h-Maça'nın uygun pişirilmesi

i-Sıvı metal sıcaklığının uygun seçimi

j-Homojen sıkıştırma yapılması. (American Foundrymen's Society publication 2014).

#### 4.2.6 Kum Düşmeleri

Kalıp içinde döküm öncesi veya döküm sırasında üst dereceden kopan kum parçaları nedeniyle oluşan hatadır (Şekil 4.5). Kumun koptuğu yerde metal yığılması nedeniyle fazlalık metal içinde bulunduğu yerde ise metal eksikliği şeklinde kendini belli eder. Kopan kum parçacıkları sıvı metalin kaldırma etkisi nedeniyle kalıp içinde taşınarak farklı yerlerde hatalar ortaya çıkarır. Sürüklenen kum kütlesi metalin kaynamasına neden olur. Bir kısım kumda besleyici veya çıkıcıdan dışarı atılabilir.



Şekil 4.5: Kum düşmesi sonucunda döküm yüzeyinde oluşan boşluk ve fazlalıklar  
(Harran Üniversitesi 2016).

#### 4.2.6.1 Kum Düşmelerinin Oluş Nedenleri

a-Döküm parça geometrisinin keskin köşeli derin, aşırı girintili ve çıkıntılı olması

b-Yetersiz model konikliği

c-Esnek derece yapısı

d-Dikkatsiz kapatılan üst derece

e-Hassas olmayan derece pimleri

f-Hatalı ve aşırı yüklenmiş ağırlık

g-Dayanıksız kalıp kumu

h-Yetersiz sıkıştırılmış kalıp

i-Yetersiz firkete, kanca sayısı yada hatalı kullanımı

j-Astar kumunun dolgu kumuyla tam olarak kaynamaması

#### 4.2.6.2 Düşmelerin Önlenmesi

a-Parça geometrisinin basitleştirilmesi keskin köşelerin yuvarlatılması uygun derinlikli parça oluşturma girinti ve çıkıntılarının azaltılması

b-Uygun model konikliği seçimi  $1^{\circ}$ - $2^{\circ}$  arası

c-Derece esnekliğini giderme

d-Üst derecenin özenle kapatılması

e-Uygun derece pimleri ve hassasiyeti

f-Uygun ağırlıkla yüklemi

g-Uygun kalıp kumu seçimi

h-Uygun ve üniforma kalıp sıkıştırma

i-Yeterli sayı ve konumda seçilmiş kanca ve firkete dizaynı

g-Birbirine uyumlu astar kumu ve dolgu kumu seçimi (American Foundrymen's Society publication 2014).

#### 4.2.7 Saçma

Küçük metal küreciklerinin ergimeden veya kütleye kaynamadan bulunması durumudur (Şekil 4.6). Sıvı metalin kalıba dökülmesi sırasında patlama, çalkantı veya kaynaması nedeniyle yüksek sıvı metal (sıcaklığı) oluşur. Yuvarlak halinde katılaştıran parçaları sıvı metal ergetemez. Değişik boyutlarda kalıbın farklı yerlerinde bulunabilir. Parçaya dışarıdan bakıldığında fark edilemeyebilir. İşlemeden sonra ortaya çıkar işlemeyi zorlaştırır.



Şekil 4.6: Saçma hatalı döküm iş parçası (Harran Üniversitesi 2016).

#### 4.2.7.1 Saçmanın Oluş Nedenleri

- a-Sürekli dökülmeyen sıvı metal
- b-Yüksekten dökülen sıvı metal
- c-Hatalı yolluk sistemi
- d-Gidici tabanına meme bağlanması
- e-Gidici dibine derin açılmış yada hiç açılmamış topuk varlığı
- f-Aşırı nemli kalıp kumu
- g-Kalıp kumunda metalik çapak ve çivinin varlığı
- h-Yetersiz şişleme
- i-Çıkıcı konmaması
- g-Maça hava kanallarında sıvı metal kaçağının varlığı
- k-Düşük sıcaklıklı sıvı metal ve akışkanlığın yetersizliği

l-Derece federlerinin ve kancalarının kalıp yüzeyine yakınlığı

#### **4.2.7.2 Saçma'nın Önlenmesi**

a-Kesiksiz metal akışının sağlanması

b-Döküm yüksekliğinin optimum seviyede tutulması

c-Uygun yolluk sistemi seçimi

d-Düzgün çıkıcı meme bağlantısı

e-Uygun boyutlu topuk seçimi

f-İyi ve uygun kurutulmuş kalıp kumu

g-Takviye çivilerinin kalıp kumu içine gömülü olması. Kalıp yüzeyine taşırmama

h-Uygun şişleme yapılmalı

i-Kalıbın uygun yerlerine çıkıcı konulması

j-Maçha hava kanallarının doğru yönde seçilmesi

k-Sıvı metal sıcaklığının uniform akışı sağlayacak şekilde seçilmesi

l-Feder ve kancaların konumlarının uygun seçilmesi (American Foundrymen's Society publication 2014).

#### **4.2.8 Sertlik**

Döküm parçasının çok hızlı soğumasından kaynaklanan bir döküm hatasıdır. Parça kırılarak bakıldığında beyaz renkli görüntü veriyorsa parçanın aşırı sertleşmiş bir yapı kazandığı ortaya çıkar. Bu yapıdaki döküm parçalar çok kırılabilir ve sert olurlar. İşlenmeleri oldukça zor olup bazen hiç işlenemezler. Bu hata ince kesitli parçalarda daha çok görülür.

#### **4.2.8.1 Oluş Nedenleri**

a-Aşırı nemli kalıp kumu

b-Kalıp yüzeyinde sertleştirici boyaların fazlalığı

c-Sıvı metal bileşimlerinde karbür yapıcı Mo, Mn, S, V gibi elementlerin fazlalığı

d-Grafitleştirici etkisi olan silisyum fosfor gibi elementlerin azlığı

e-Sıvı metal içinde Manganez kükürt dengesinin uygunsuzluğu

f-Sıvı metalin gazlı, oksitli ve soğuk oluşu

g-İyi kurutulmamış ve soğuk taşıma, potası

h-Soğumadan çıkarılmış iş parçası

i-Sıcak döküm parçasına su tutulması

#### **4.2.8.2 Sertliğin Önlenmesi Yöntemleri**

a-Kalıp kumunun uniform kurutulması

b-Sertleştirici boya niceliğini azaltmak

c-Karbür yapıcı elementlerin varlık ve niceliklerinin dengelenmesi

d-Silisyum ve fosfor oranının ayarlanması

e-Uygun kükürt ve manganez dengesi

f-Uygun sıvı metal sıcaklığı, gazı alınmış ve deoksidon ile arındırılmış sıvı metal

g-Potaların sıvı metal alınmadan önce yeterince kurutulması ve ısıtılması

h-İş parçasının kalıptan soğumadan çıkarılmaması iri daneli kristal yapı oluşturur

i-Sıcak parça hızlı soğumadan dolayı Lokal ince daneli yapı oluşturur. Soğumanın beklenmesi gerekir (American Foundrymen's Society publication 2014).

#### **4.2.9 Sert Bölgeler ve Sertleşmiş Noktalar**

Döküm parçaların kalıpla temas eden yüzeyleri iç bölgelere göre daha erken katılaştığından sert olur. Ayrıca ince kesitler kalın kesitlere göre daha çabuk katılaştığından sert olur. Kalıba ilk giren sıvı metal ile son giren metalin katılma zamanı farklıdır. Döküm parçalar da farklı kesitler ve farklı katılaşmalar sert noktaların yada bölgelerin oluşmasına neden olur.

##### **4.2.9.1 Set Bölgelerin Oluş Nedenleri**

a-Döküm parçaların kesit farklılıkları

b-Yolluk sisteminin ince kesitlere uzaklığı

c-Kalıp kumunun aşırı nemli olması

d-Maç kumunda bağlayıcı fazlalığı

e-Maçanın aşırı ısı emmesi nedeniyle metali hızlı soğutması

f-Maç iskeletleri derece federlerinin kalıp yüzeyine çok yakın olması.

g-Kalıp ve maçalarda sertleştirici boyaların fazla kullanılması

h-Soğutucunun yanlış ve gereğinden fazla kullanılması

i-Kalıp yüzeyine fazla çivi atılması

j-Sıvı metal bileşenlerinin homojen olmaması

k-Taşıma potalarının yetersiz kurutulması ve ısıtılmadan metal dolununun yapılması

l-Dökülen işlerin soğumadan kalıptan alınması ve su tutulması.

#### **4.2.9.2 Önlenme Yöntemleri**

a-Elden geldiğince düzgün eşit kalınlıklı kesit oluşturmak

b-Yollukları ince kesite yakın düzenlemek

c-Kalıp kumunun yeterli kurutulması

d-Maçada bağlayıcının optimum kullanımı

e-Maçanın kuru ve sıcak olması

f-Maç a iskeletleri federlerini kalıptan uygun mesafede düzenlemek

g-Boya miktarını optimum düzeyde kullanmak.

h-Soğutucu sayılarını gereğinden fazla yapmamak

i-Kalıp yüzeyinde çivi sayısını azaltmak

j-Homojen bir sıvı metal bileşeni ve dağılımını sağlamak

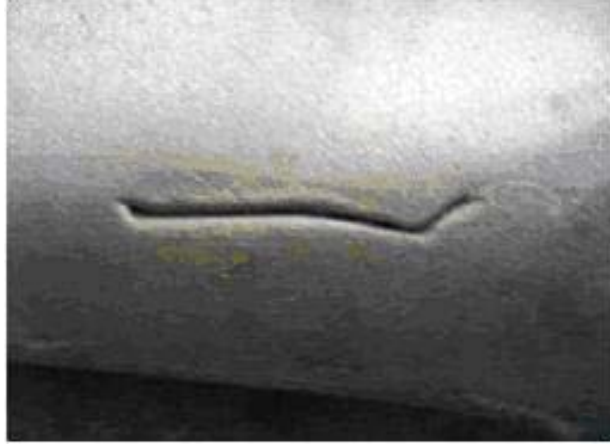
k-Taşıma potalarını sıvı metal almadan önce kurutmak ve ısıtmak

l-Dökümüm kalıpta soğumasını bekledikten sonra almak, sıcak katı döküme su tutmamak (American Foundrymen's Society publication 2014).

#### **4.2.10 Soğuk Birleşme ve Eksik Kalmalar**

Sıvı metal kalıba değişik yönlerden akarak kalıba dolar (Şekil 4.7). Farklı yönden gelen sıvı metaller soğumadan dolayı birbirine kaynamazsa soğuk birleşme oluşur. Bu hataya katmer de denir. Parça üzerinde bir çizgi halinde görülür. Sıvı metalin kalıbı tam olarak doldurmaması durumunda eksik kalma hataları oluşur, parça eksik çıkar (Şekil 4.8).





Şekil 4.7: Soğuk birleşme (Harran Üniversitesi 2016).



Şekil 4.8: Eksik kalma (Harran Üniversitesi 2016).

#### **4.2.10.1 Oluş Nedenleri**

- a-Döküm parçalarda kesit farklılıklarının fazla olması
- b-Kalıp kumunda aşırı nem
- c-Yanlış yolluk sistemi düzenlenmesi
- d-Üst derecesinin sarkması

- e-Üst derece yüksekliğinin azlığı
- f-Kesikli sıvı metal beslemesi
- g-Sıvı metal akıcılığının yetersizliği
- h-Sıvı metalin döküm sıcaklığının yüksek olması
- i-Kalıp ve maça havasının iyi alınmaması
- j-Aşırı soğutucu kullanımı ve kalıp yüzeyinin oksitli olması
- k-Yetersiz meme sayısı

#### **4.2.10.2 Önleme Yöntemleri**

- a-Birbirine yakın kesit dizaynı yapmak
- b-Kalıbın kurutulması gerekir.
- c-Yolluk düzenlemesinin optimizasyonu
- d-Üst derecenin takviyesi ve ağırlıkların azaltılması
- e-Üst derecenin kalınlığını arttırmak
- f-Sıvı metal beslemesinin sürekli olması
- g-Yeterli sıvı metal sıcaklığı ve homojen eriyik dağılımı
- h-Döküm sıcaklığını uygun değere çekmek
- i-Kalıp ve maçanın havasını vakumlayarak kalıptan uzaklaştırmak
- j-Soğutucu sayısını azaltmak
- k-Gaz kaçıışı için yeterli meme dizaynı (American Foundrymen's Society publication 2014).

#### 4.2.11 Kaçıklık

Genellikle maça yüzeylerin bulunduğu yerlerde döküm parçalarının kaymış durumda elde edildiği durumlardır (Şekil 4.9). İşin dış kısmı düzgün olduğu halde maçalı kısımlardak açıklık olabilir. Bu hata parçanın dış görünümünü bozar ve kolayca belirlenebilir.



Şekil 4.9: Kaçıklık hatası (Harran Üniversitesi 2016).

##### 4.2.11.1 Kaçıklığın Oluş Nedenleri

- a-Model ve maça sandıklarında oval yerlerin aşınması
- b-Hassas olmayan derece pimleri
- c-Derecelerde gönyesizlik
- d-Tamponların dikkatli yapılması
- e-Hatalı maça yerleşimi
- f-Modellerin aşırı ve farklı tokmaklanması
- g-Maçta desteği ölçüsünün yetersizliği
- h-Üst derecenin ters kapatılması

l-Sabit derecelerde pimsiz sürgü yada kelepçe takılması

j-kapatılmış sabit derecelerdeki kalıpların pimsiz durması ve darbe alması

#### **4.2.11.2 Kaçıklığı Önleme Yöntemleri**

a-Aşınmış kavalye ve yuvaların değiştirilmesi

b-Pimlerin hassas ölçüde yapılması

c-Dereceyi gönyelemek alt üst dereceyi birbiri ile uyumlu hale getirmek

d-Tampon dolguların düzenli özenli yapılması

e-Maçaları dikkatli yerleştirmek

f-Uniform tokmaktama yapmak

g-Uygun maça desteği boyutlandırmak

h-Dereceyi düzgün kapamak

l-Sürgü ve kelepçeleri pimlemek

j-Kapatılmış kalıplarda pim ve sürgü kontrolü yapmak. Darbeyi engellemek (American Foundrymen's Society publication 2014).

#### **4.2.12 Çapak**

Dökümden çıkmış parçaların mala yüzeylerinde ve maça başlarında ince plakalar halinde döküm fazlalıkları bulunur (Şekil 4.10). Bunlar çapak olarak adlandırılır. Çapakların çok ince olanları kırılarak giderilebilir kalın çapakların bertarafı zordur. Döküm parçalarında ölçü boyutlarını değiştirir. Kalıpların çatlayan kısımlarına sıvı metal penetrasyonu da çapak oluşabilir.



Şekil 4.10: Çapaklı döküm (Harran Üniversitesi 2016).

#### 4.2.12.1 Çapağın Oluş Nedenleri

- a-Model ve maça sandığı ölçülerinin uygun olmaması.
- b-Derecelerin çarpılması
- c-Hassas olmayan derece pimi
- d-Yetersiz ağırlık
- e-Aşırı perdah ve mala-kalıp yüzeyi
- f-Düzensiz onarım
- g-Hatalı kapatılmış dereceler
- h-Mala yüzeyinde çapak kesilmemesi, kurutulan kalıplarda yağlı grafit vb. malzemelerin kullanılmaması
- l-Yüksek sıvı metal sıcaklığı.

#### **4.2.12.2 Çapağı Önleme Yöntemleri**

a-Model ve maça sandıklarının uyumluluğu

b-Derecelerin çarpıklığının giderilmesi

c-Derece pimlerinin hassas pimle değişimi

d-Uygun ağırlıklarla derecenin kapatılması

e-Aşırı perdah ve maladan kaçınmak

f-Onarımların daha dikkatli yapılması

g-Derecelerin özenli kapatılması ve yönlerine dikkat edilmesi

h-Mala yaparken çapak ortaya çıkarsa bunların temizlenmesi gerekir. Kurutulan kalıp yüzeyine yağlı grafit tozu serpilmelidir.

i-Uygun sıvı metal sıcaklığı (American Foundrymen's Society publication 2014).

#### **4.2.13 Forsa ve Sızmalar**

Döküm sırasında veya hemen sonrasında mala yüzeyinden yada kalıbın herhangi bir yerinden sıvı metalin dışarı akması olayı forsayı oluşturur. Forsa döküm sırasında,Sızma ise kalıbın tamamen sıvı metalle dolmasından sonra ortaya çıkar.Bu hatalar işlerin eksik kalmasına ve çapaklı çıkmasına neden olur.

##### **4.2.13.1 Forsanın Oluş Nedenleri**

a-Derece ölçülerinin çok küçük olması

b-Gidişi,cürufluk ve memelerin derece kenarına çok yakın olması

c-Çarpılmış ve yıpranmış dereceler,derecenin ve esnemesi

d-Hassas olmayan derece pimleri

e-Hatalı maça yerleşimi.

f-Maçadaki hava boşluklarına sıvı metal akımı

g-İyi sıkıştırılmamış kalıp

h-Mala yüzeylerindeki hatalı onarım ve aşırı perdahlama

i-İyi yataklanmamış derecelerin varlığı

j-Mala yüzeylerinde çapak kesilmemesi, kurutulan kalıplarda yağlı grafit vb. malzemelerin kullanılmaması

k-Büyük kalıplarda derece birleşme yerlerinin çamurlanmaması

l-Ağızlığın az veya dengesiz yüklenmesi

m-Çıkma derecelerde tamponun gevşek bırakılması yada hatalı ceket kullanımı

n-Dökümden hemen sonra ağırlık sürgü ve kenetlerin alınması

#### **4.2.13.2 Forsayı Önleme Yöntemleri**

a-Derece ölçülerini çok küçük yapmamak

b-Gidici, cürüflük ve memelerin derece kenarından daha uzakta dizaynı

c-Derecelerin gönyeli olması, esnemenin önlenmesi

d-Uygun hassas olmayan derece pimlerinin yenilenmesi

e-Maçaya yerleşimine özen gösterilmesi

f-Maçadaki hava boşluklarının giderilmesi

g-Kalıpların üniform tokmaklanması ve aşırı sıkıştırılmaması

h-Malalanan yüzeylerde özenle onarım ve perdahlama yapılması

i-Derecelerin stabil yataklanması

j-Mala yüzeylerinde oluşan kum çapaklarının kesilmesi gerekir yağlı grafitle yağlanmalıdır

k-Büyük kalıplarda derece birleşme yerlerinin iyi çamurlanması gerekir

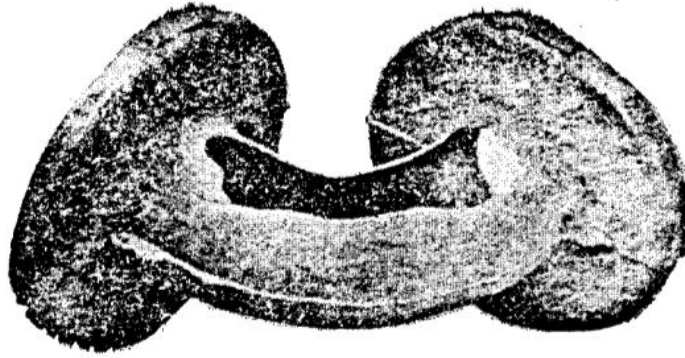
l-Düzgün ve üniform metal yükleme

m-İşlemin düzgün ve yönergelere uygun yapılması gerekir

n-Metal iyice katılaşmadan sürgü, kanat ve ağırlıkların alınmaması gerekir (American Foundrymen's Society publication 2014).

#### **4.2.14 Maçaların Kalkması (Yüzmesi)**

Sıvı metalin kaldırma etkisi nedeniyle maçalar yukarı doğru kalkabilir (Şekil 4.11). Kalkan maçalar döküm parçasının kesit ve ölçülerini bozar ve iş içinde kaçıklık hatası oluşur.



Şekil 4.11: Dökümde kalkmış maça (Meb 2011).

##### **4.2.14.1 Maçaların Yüzme Nedenleri**

a-Model ve maça sandığı arasında ölçü uyumsuzluğu

b-Maçaların kesit kalınlığına uygun yeterli maça desteğiyle desteklenmemesi

c-Maçâ içine yeterli iskelet demiri konmaması



d-Düşük dayanımlı kalıp maça kumu ile yetersiz sıkıştırma işi

e-Modellerin aşırı ve dengesiz takalanması

f-Yüksek sıcaklıkta sıvı metal varlığı

#### **4.2.14.2 Maça Yüzmesinin Önlenmesi**

a-Maça ve model ölçü uygunluğunu sağlamak

b-Kesit kalınlığına uygun desteklerle maça desteklenmelidir.

c-Maça içine yeterli iskelet demiri konulmalıdır

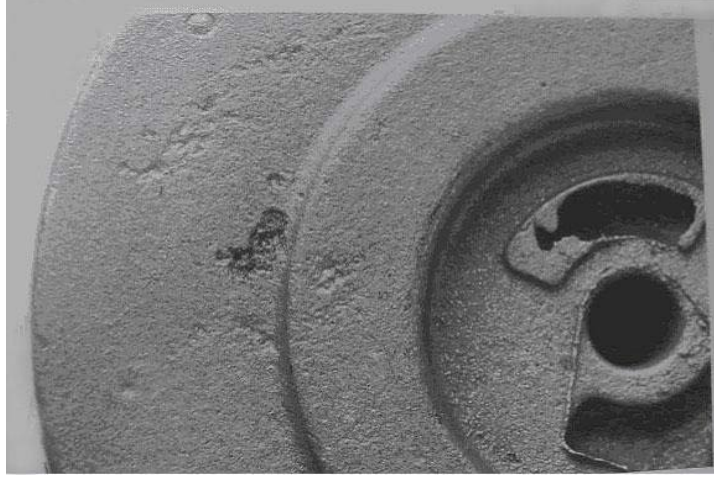
d-Yüksek dayanımlı maça ve kalıp kumu kullanımı ve yeterli sıkıştırma yapılmalıdır.

e-Modeller yeterli ve üniform tokmaklanmalıdır (takalanmalıdır)

f-Sıvı metal sıcaklığı uygun seçilmelidir (American Foundrymen's Society publication 2014).

#### **4.2.15 Döküm Parçalarında Cüruf ve Diğer Yabancı Maddeler**

Ergimiş metallerin içinde bulunan yabancı maddelerin bir kısmı cüruf olarak sıvı metal yüzeyinde toplanır ve buradan alınır. Özgül ağırlığı sıvı metale yakın olanlar sıvı metalle birlikte kalıba dökülebilir (Şekil 4.12). Dökümden sonra kalıp içine girebilen yabancı maddeler iş temizleme işleminde ortaya çıkar. İş yüzeyinde veya herhangi bir yerinde boşluk oluşturur.



Şekil 4.12: İş yüzeyinde cüruf ve çapak oluşumu (Harran Üniversitesi 2016).

#### **4.2.15.1 Cüruf Oluş Nedenleri**

- a-Sıvı metalin dökümden önce iyi arıtılmaması
- b-Yolluk sisteminin cüruf tutucu şekilde düzenlenmemesi
- c-Kesikli metal akışı
- d-Yolluk sisteminin dolu tutulmaması
- e-Ergimiş metale soğuk metal ilavesi
- f-Kalıp kumu maça kumu ve pota harcının sıcaklık dayanımlarının az olması

#### **4.2.15.2 Cüruf Önleme Yöntemleri**

- a-Sıvı metal cüruftan arındırılmalı, cüruf yapıcı katkıları potaya dökümden önce eklenmelidir.
- b-Yolluk sistemini cürufu tutacak şekilde düzenlemek gerekir.
- c-Kesikli metal akışı cürufun erken katılaşması ve katılaşan metalle kaynak yapması söz konusudur. Sürekli metal akışı ile kalıp içinde cüruf katılaşması engellenmelidir.

d-Yolluk sistemi dolu tutularak cürufun yolluktan tahliyesi sağlanmalıdır

e-Ergimiş metale soğuk metal eklenmemelidir.

f-Uygun dayanımlı kum ve harç seçilmelidir (American Foundrymen's Society publication 2014).

#### **4.2.16 Metal ve Alaşımlarının Çekmesinden Oluşan Hatalar**

Isınan metallerin genişmesi nedeniyle hacmi artar. Tersine soğuyan metalin de hacmi azalır. Diğer bir tanımla metal ve alaşımların sıvı fazdan katı faza geçişinde hacimleri küçülür. Metallerin ısı alışverişlerinde ortaya çıkan hacim değişimleri birbirinden farklıdır.

Her metalin kendine özgü çekme veya genişleme katsayısı vardır. Bu değer saf metallerde yüksek, alaşımlarda ise küçüktür. Örneğin saf alüminyumun çekmesi %1,7 iken alaşımlarında ise %1,1'e kadar iner. Dökme demirlerde çekme oranı %1, çeliklerde %1,2 civarındadır.

Ergimiş metalin kalıplara dökülüp soğuması sırasında aşağıdaki hatalar oluşur. Bunlar:

a-Çöküntü

b-Gerilmeler ve çatlama

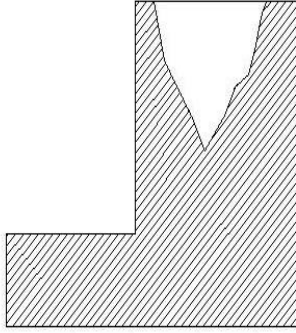
c-Çarpılmalar

Kum kalıba dökülen dökümlerin ölçüleri model ölçülerine göre bir miktar küçülmüş olarak çıkar. Esmer dökme demir katılaşmadan önce bir miktar hacimsel genişleme yapar (American Foundrymen's Society publication 2014).

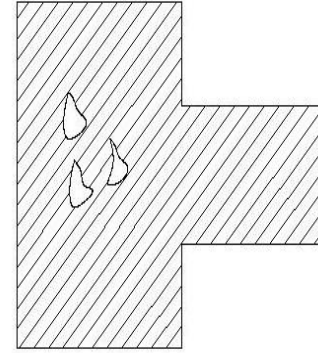
##### **4.2.16.1 Çöküntü**

Genellikle kalın kesitler döküm parçaların üst yüzeyinde görülür. Ayrıca meme yakınlarında, yolluğa uzak bölgeler yanında işin alt ve orta bölgelerinde

görülebılır. Katılářma kalıbın taban ve yan yüzeylerin de daha hızlıdır. Kalıbın üst kısmı daha geç katılářır. Alt kısımdaki hacim küçülmeleri üstteki sıvı metal ile beslenir. Yolluk sisteminin kalıbın üst yüzeyini besleyemediği durumlarda çöküntü hatası ortaya çıkar (Şekil 4.13). Kalıplarda yolluk sistemi besleyici ve çıkıcının en geç katılářması istenir. Dıştan soğumaya başlayan ve yolluk marifetiyle beslenemeyen işlerde iç çöküntüler oluşur (Şekil 4.14).



Şekil 4.13: Dış çöküntü  
(Meb 2011).



Şekil 4.14: İç çöküntü (Meb 2011).

#### 4.2.16.1.1 Çöküntünün Oluş Nedenleri

- a-Modeldeki kesit kalınlıklarının çok farklı olması
- b-Köşe ve kenarlara uygun pah verilmemesi
- c-Yolluk ve besleyicinin hatalı yerleşimi
- d-Üst derece yüksekliğinin az olması
- e-Yolluk ölçülerinin küçük olması
- f-Küçük besleyici boyutu
- g-Besleyicinin döküm parçadan uzaklığı
- h-Dış ve iç soğutucu kullanımı

i-Yetersiz soğutucu sayısı

j-Alaşımında karbür yapıcı element fazlalığı

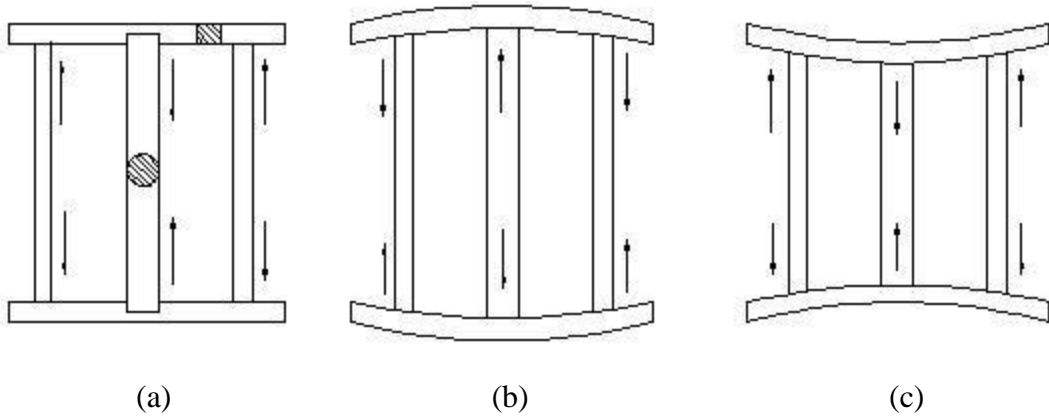
k-Fosfor miktarının fazlalığı

l-Sıvı metal sıcaklığının çok çökücüye az olması

m-Sıvı metal döküm hızının fazlalığı (American Foundrymen's Society publication 2014).

#### 4.2.16.2 Gerilmeler ve Çatlama

Farklı kesitlerdeki döküm parçalarının kalın kısımları yavaş, ince kısımları hızlı katılarak gerilmelerin oluşmasına neden olur. Maça ve kalıbın sıvı metalin büzülmesine direnç göstermesi gerilmelerin bir diğer nedenidir. Döküm parçalarındaki bu gerilmeler göz ile belirlenemez. Ancak bazı dökümler bu gerilmelere dayanamayıp çatlarlar. Çatlama ince kesitli parçaların maça kenarlarında çok görülür. Döküm parçaların gerilmeleri uzun süre açık havada bekletilerek ya da tavlanaarak giderilir. Gerilmeleri giderilmiş parçalar işlenebilir ve kullanılabilir. Çatlama malzemenin birbirinden ayrılması sıcak yırtılmayı oluşturur (American Foundrymen's Society publication 2014).

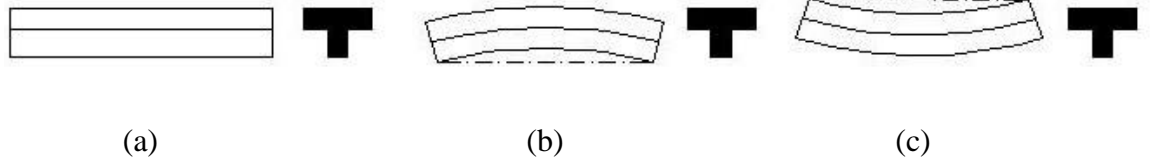


Şekil 4.15: Gerilme ve sonuçları (Meb 2011).

(Şekil 4.15 a) İlk olarak yanlardaki ince çubuklar katılaşmaya başlar. Bu sırada ortadaki kalın çubuk genişmekte olup büyümeye çalışmaktadır. Ve sistem (Şekil 4.15 b)'deki gibi olur. Kalın çubuk katılaştıkça küçülmeye çalışır ve önceden katılaştıkça yanlardaki ince çubukların direnci ile karşılaşır. Burada kalın çubuk küçülür yanlardaki ince çubukların direnci ile alt ve üst başlık çubukları eğilir (Şekil 4.15 c).

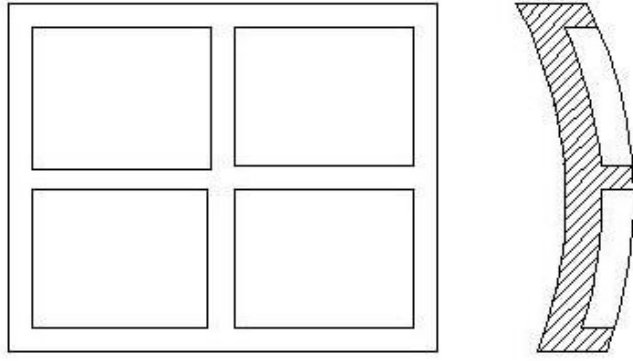
#### 4.2.16.3 Döküm Parçalarının Çarpılması

Parçaların dengeli soğutulmaması sonucunda ince ve kalın kesitlerin farklı zamanlarda küçülmeleri çarpılma hatalarını oluşturur. Çarpılan dökümlerin biçimleri bozulur. Form değişikliği, kamburlaşma şeklindedir.

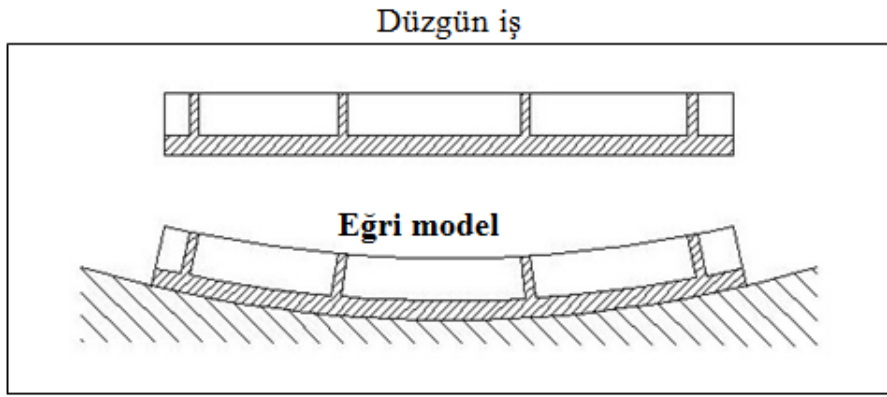


Şekil 4.16: Çarpılma (Meb 2011).

İki farklı kesitli döküm parçada önce ince kesitli bölüm katılaştıkça (Şekil 4.16). a) Bu sırada kalın kısım hacimsel genişleme fazında olup ince kısmın küçülmesine engel olur. (Şekil 4.16 b) deki gibi çarpılma oluşur. Daha sonra kalın kısım katılaştıkça küçülmeye çalışır, fakat önceden katılaştıkça ince kesitinin direnci ile karşılaşır. Sonuçta parça (Şekil 4.16 c) deki gibi çarpılır.



Şekil 4.17: Takviyeli çarpılmış plaka (Meb 2011).



Şekil 4.18: Eğri model ve düzgün iş (Meb 2011).

## 5. DÖKÜM TASARIM İLKELERİ

### 5.1 Döküm Parçası Tasarlama

Döküm üretiminde “Yöntem-Yapı-Özellik” ilişkisi döküm teknolojisinin ana uğraşlarını oluşturur. Bir başka anlatımla seçilen alaşımdan bir döküm parçanın hangi döküm yöntemiyle elde edileceği, nasıl bir katılma yapısında ve özelliğinde olduğu döküm hatalarının (Boşluk, Segregasyonvb.)ne şekilde engellenmesi gerektiği çözülmesi gereken sorunla başında yer almaktadır. Döküm endüstrisi endüstriyel gelişmenin bir indeksi veya bir ülkenin ekonomik kalkınmışlık seviyesini bir göstergesi olarak ortaya çıkar.

Bir parçanın döküm yöntemiyle üretimi kararlaştırıldıktan sonra parçanın geometrik şeklinin, malzemesinin ve taşıyacağı zorlama düzeyinin, hangi döküm yönteminin uygun olduğunu belirlenmesi gerekir. Her parça her döküm yöntemiyle üretilmez. Çok karmaşık bir parça ile basit bir parçanın aynı döküm yöntemiyle üretilmesi hem imalat tekniği açısından, hem de ekonomik açıdan uygun değildir. Bir parçanın belirli bir döküm yöntemine uygun olup olmadığına kara verilebilmesi için, parçanın aşağıdaki kriterlere göre irdelenmesi gerekir.

a-Zorlamalar

b-Malzeme türü

c-Enerji tüketimi

d-Süre

e-Maliyet

Döküm parçasının tasarımı genel üretim ilkeleri yanında özel döküm tekniği ilkelerinde göz önünde tutulmasını zorunlu kılar. Bu özel döküm tekniği ilkeleri arasında sıvı halde ki materyalinin döküm kalıbını doldurmaya nicelikte olması ve soğuma sırasında özellikle katılma sıcaklık bölgesinde oluşacak büzölmeye izin



vermesi gerekir. Döküm parçasının tasarımında olası sorunları en aza indirmeye yönelik tasarım kuralları aşağıda verilmiştir.

**Kural 1:** Doldurma işleminin türbülans oluşturmayacak biçimde yapılması ve döküm sırasında gazlar ve havanın kalıptan tam olarak çıkması sağlanmalıdır.

**Kural 2:** Parçanın her yapımında katılaşma ve soğumanın üniform olması sağlanmalıdır.

**Kural 3:** Büzülme sınırlayan nedenler en aza indirmelidir.

**Kural 4:** Döküm kalıbının biçimi elden geldiğince basit olmalıdır.

**Kural 5:** Sonradan kesilerek uzaklaştırılması gereken yolluk, çıkıcı ve besleyici gibi döküm çapakları kolayca ulaşılabilir şekilde yerleştirilmelidir.

**Kural 6:** Köşelerde büyük radyüslü tasarım seçilmeli, keskin kenar ve köşelerden uzak durulmalıdır.

**Kural 7:** Gerilim yoğunlaşması döküm tekniğinde her zaman boşat bir konudur. Artan metal niceliği daha fazla büzülme dolayısıyla yüzeyde çekince bir tabaka üstünde aşırı gerilmelere yol açarak malzemenin çatlamasına neden olur. Bu nedenle gerilme odağı oluşturarak sıcak yırtılma ve çatlamalara neden olabileceğinden sivri, keskin köşe ve açılardan kaçınılmalıdır. Böyle formlar yuvarlatılmalıdır. Böyle bir yuvarlatma gerilim yoğunlaşmasını azalttığı gibi malzemenin soğuma ile büzülmesinde de olumlu etkiler yapar.

**Kural 8:** Döküm üzerinden talaş kaldırmanın gerekli olduğu tüm yüzeylerde, talaşlı işleme Toleransı olarak adlandırılan ilave bir malzeme bırakılır. Kum dökümler için tipik talaşlı işleme Toleransı  $1.5 \div 3$  (mm) arasındadır.

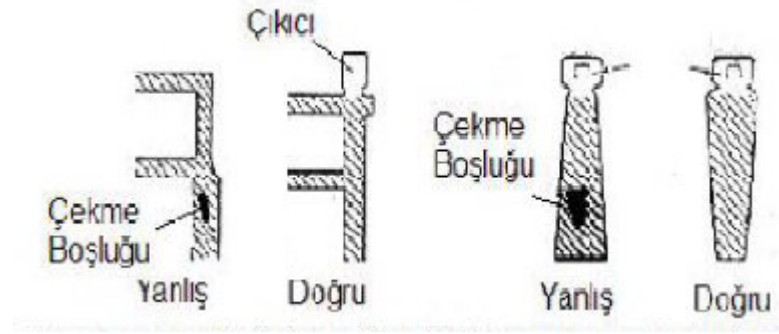
**Kural 9:** Destekten yoksun büyük düzlem yüzeylerden kaçınılmalıdır.

**Kural 10:** özellikle PRES DÖKÜMLERDE ayırma ve koparma yerlerini dökümün köşelerine denk getirmeye gayret edilmelidir. Böyle yapıldığında parça üzerinde kalıp birleşim yeri izi görülmez.

**Kural 11:** Sürekli birbiriyle kesişen kaburga formu desenler birçok problemin kaynağı olabilir. Kaburgaların formunun biraz kavislendirilmesi gerilim yoğunlaşmasını önemli ölçüde azaltır (Teknik Bilgi Hazinesi 2013).

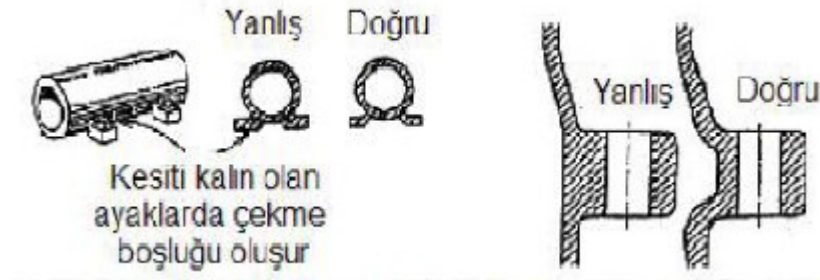
## 5.2 Biçimlendirme İlkeleri

Tasarımlarda uyulması gereken biçimlendirme ilkeleri döküm kusurlarının ortaya çıkmaması için gerekli olanlar ve üretim kolaylığı açısından yararlı olanlar diye sınıflandırılarak aşağıda tanımlanmışlardır. Döküm kusurlarının oluşmasını engellemek için uyulması gereken biçimlendirme ilkeleri şöyle sıralanabilir:



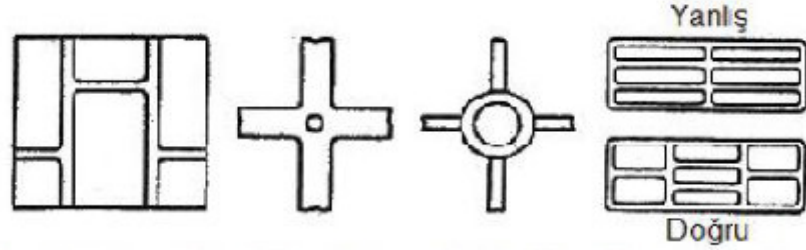
Şekil 5.1: Model biçimlendirme ilkeleri (Teknik Bilgi Hazinesi 2013).

Parça tasarımında kalıbın şekil ve katılaşmasının yönü düşünülerek kesitler sıvı metalin beslendiği yere doğru ayrılmalıdır. Böylece çekme boşluklarının oluşumunu önlemek için besleyici, çıkıcı soğutucu gibi kalıp elemanlarının kullanılması gereksiz (Şekil 5.1).



Şekil 5.2: Model biçimlendirme ilkeleri (Teknik Bilgi Hazinesi 2013).

Kesitler elden geldiğince eşit kalınlıkta düzenlenmelidir böylece kalın kesitlerde çekme boşluğu oluşumunu önlemek için ek besleme yapmak gerekmez. Ani kesit değişiminden kaçınılmalıdır (Şekil 5.2).



Şekil 5.3: Model biçimlendirme ilkeleri (Teknik Bilgi Hazinesi 2013).

Bir noktada elden geldiğince az kesit birleştirilmelidir. Yoksa en son katılan bu köşelerde çekme boşluğu oluşur (Şekil 5.3).



Şekil 5.4: Model biçimlendirme ilkeleri (Teknik Bilgi Hazinesi 2013).

Katılma sırasında oluşan taneleri ısının uzaklaştırıldığı yöne göre biçimleneceği düşünülerek içyapıda bazı zayıf bölgelerin oluşması mümkündür. Yukarıda görülen dik acılı köşede katılma sonrasında içyapıda ortaya çıkan zayıf bir bölge görülmektedir. Köşeler yuvarlatılarak daha uygun içyapılar elde edilebilir (Şekil 5.4).



Yanlış

Doğru

Yanlış

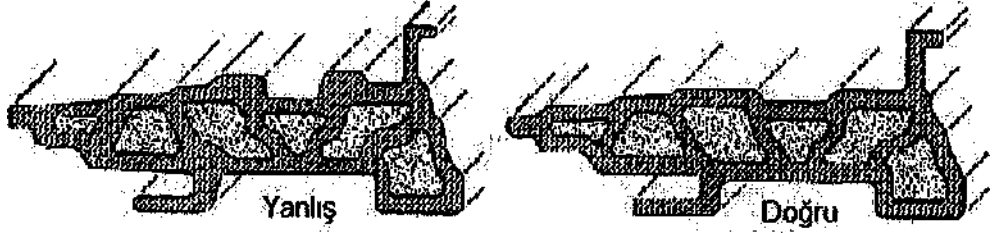
Doğru



Kötü

İyi

En İyi

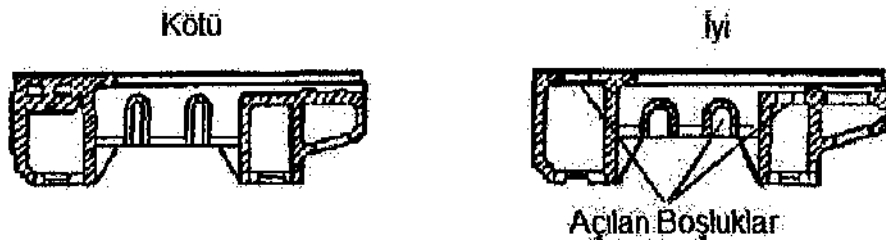


Yanlış

Doğru

Şekil 5.5: Model biçimlendirme ilkeleri (Teknik Bilgi Hazinesi 2013).

Soğuma sırasında parçada oluşabilecek sıcak yırtılma, çatlak ve çarpılmaları önlemek için gerilme yığılmalarına fırsat verilmemeli ve bu amaçla form geçişleri yumuşak yapılmalı ve keskin köşelerden kaçınılmalıdır (Şekil 5.5).



Kötü

İyi

Açılan Boşluklar

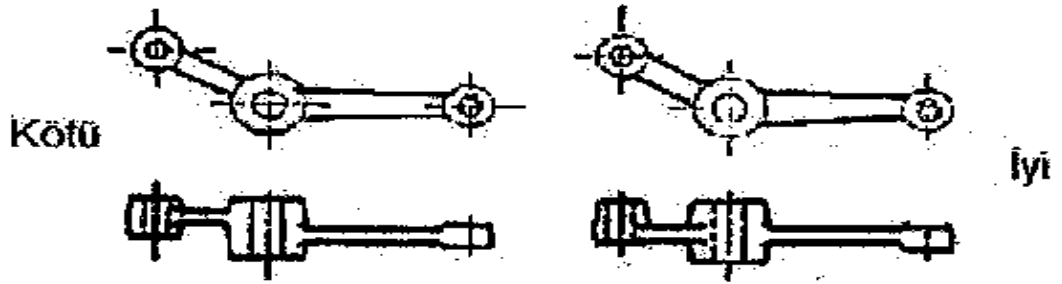
Şekil 5.6: Model biçimlendirme ilkeleri (Teknik Bilgi Hazinesi 2013).

Maçalar biçimlendirilirken döküm sırasında oluşan gazların kalıbı nasıl terk edeceği baştan öngörülmesi, gerektiğinde ek boşluklar açılarak düzeltmeler yapılmalıdır (Şekil 5.6).



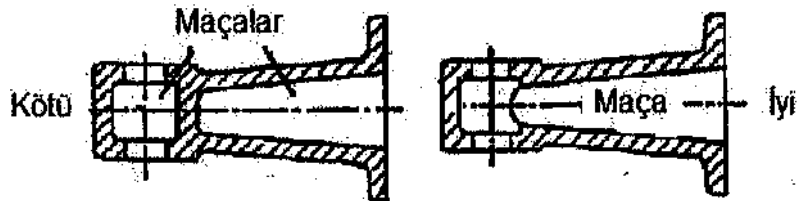
Şekil 5.7: Model biçimlendirme ilkeleri (Teknik Bilgi Hazinesi 2013).

Modelin kalıptan kolay sıyrılabilmesi için gerekli konik ve eğimler düşünülmelidir (Şekil 5.7).



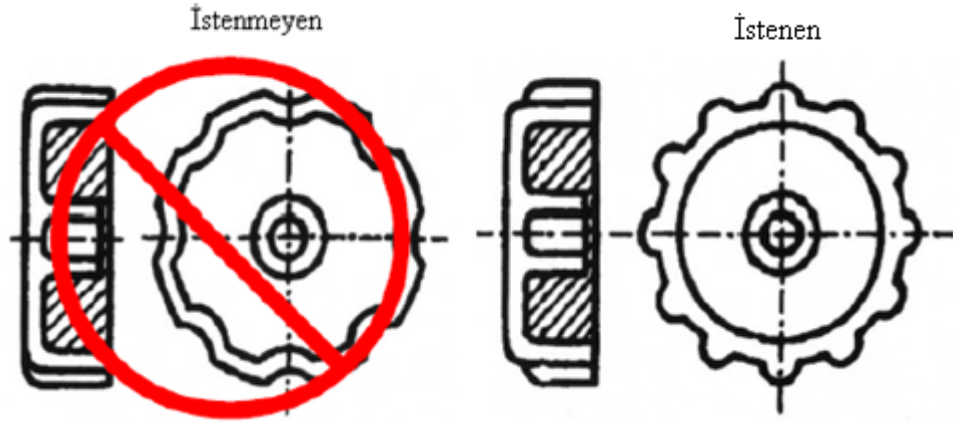
Şekil 5.8: Model biçimlendirme ilkeleri (Teknik Bilgi Hazinesi 2013).

Parça Tasarımı yapılırken kalıplamada büyük kolaylık sağlayacak düzlemsel bir büküm yüzeyi oluşturulmasına dikkat edilmelidir (Şekil 5.8).



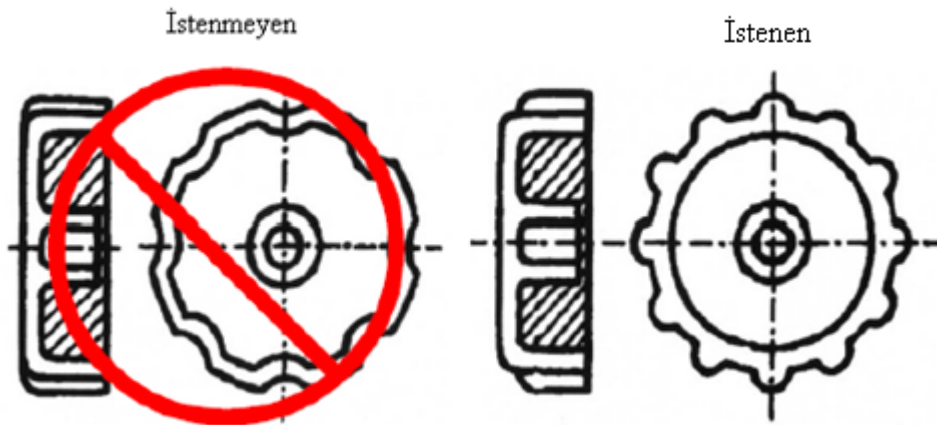
Şekil 5.9: Model biçimlendirme ilkeleri (Teknik Bilgi Hazinesi 2013).

Zorunlu olmadıkça çok sayıda maça kullanımından kaçınılmalıdır. Mükünse maçalar birleştirilmeye çalışılmalı, döküm sırasında oluşan gazların uzaklaştırılması ve döküm sonrasında maçaların kolay temizlenebilmesi için gerekli boşluklar bırakılmalıdır (Şekil 5.9).



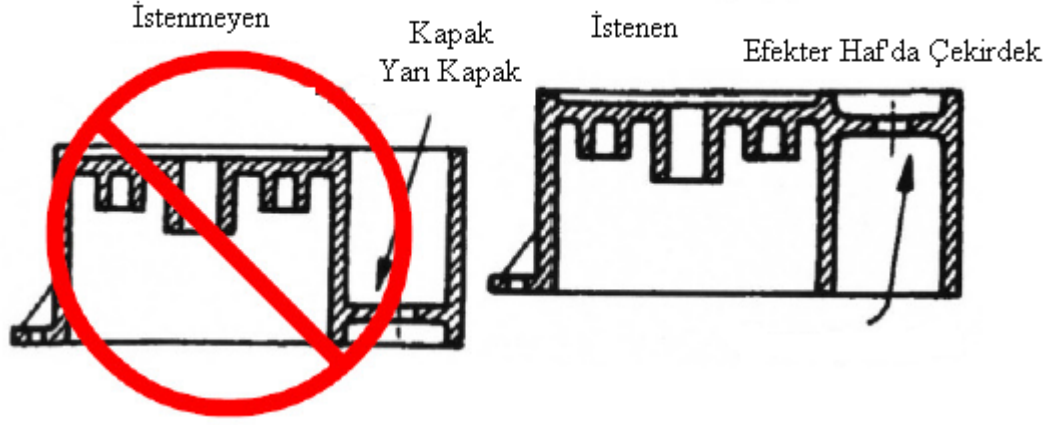
Şekil 5.10: Model biçimlendirme ilkeleri (Teknik Bilgi Hazinesi 2013).

Çekirdek etrafındaki ince duvarların etrafında sağdaki şekildeki gibi tasarım yapılır. (Şekil 5.10).



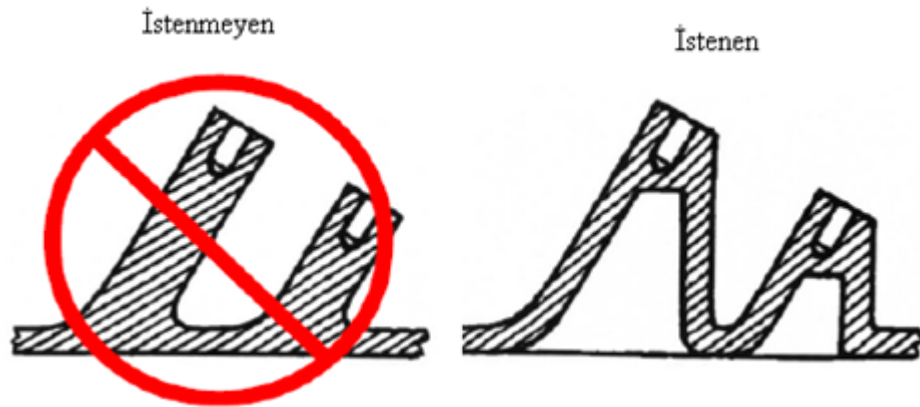
Şekil 5.11: Model biçimlendirme ilkeleri (Teknik Bilgi Hazinesi 2013).

Dış bükey dişli milin içine kolay tutunur; iç bükey dişli tasarımı zor ve pahalıdır (Şekil 5.11).



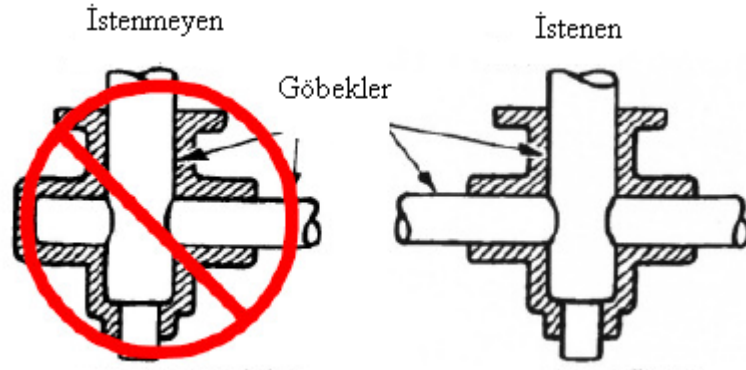
Şekil 5.12: Model biçimlendirme ilkeleri (Teknik Bilgi Hazinesi 2013).

Derin boşluklar mümkünse aynı yönde kalmalıdır (Şekil 5.12).



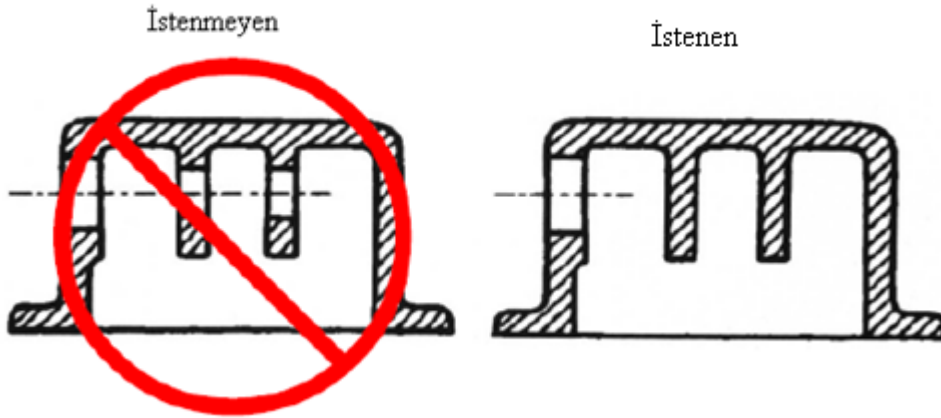
Şekil 5.13: Model Biçimlendirme İlkeleri (Teknik Bilgi Hazinesi 2013).

Daha ucuz ürün elde etmek için tasarım yapılmalıdır (Şekil 5.13).



Şekil 5.14: Model biçimlendirme ilkeleri (Teknik Bilgi Hazinesi 2013).

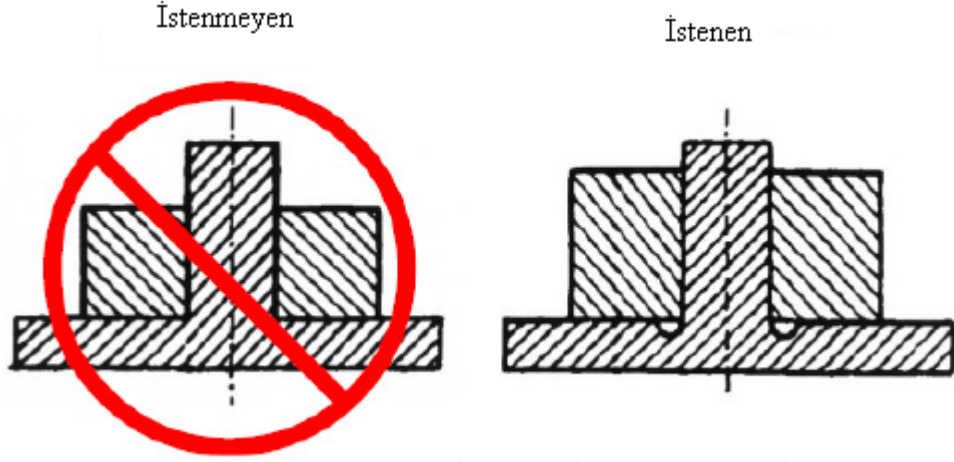
İç içe geçmiş parçalarda nadiren düzeltme yapılır. Öncelikle tasarımda iki küçük göbek daha büyük göbeği taşıyacak şekilde yapılır (Şekil 5.14).



Şekil 5.15: Model biçimlendirme ilkeleri (Teknik Bilgi Hazinesi 2013).

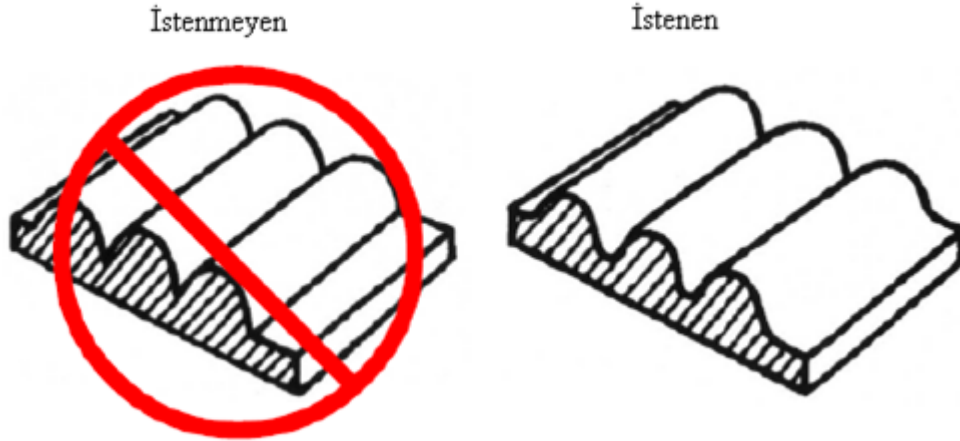
Matkap deliklerini önlemek için iç ceketler doğru boyunca kalıbın yarısına sığdırılmalıdır (Şekil 5.15).





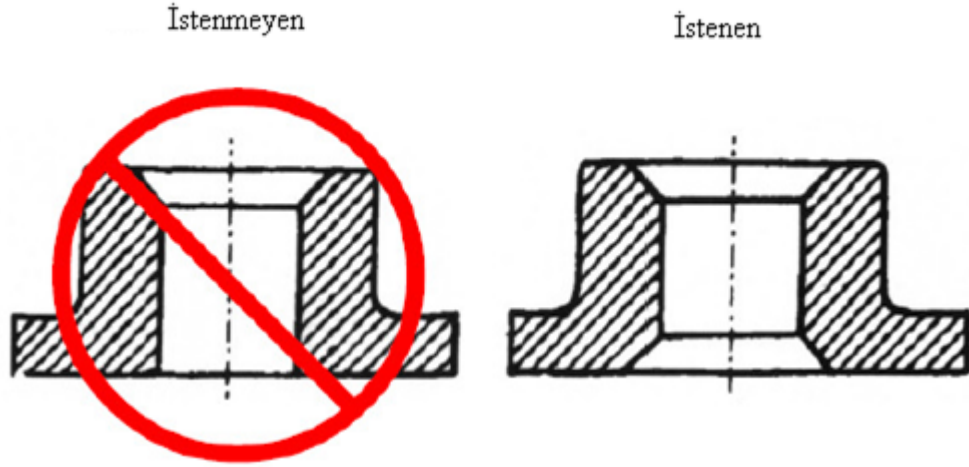
Şekil 5.16: Model biçimlendirme ilkeleri (Teknik Bilgi Hazinesi 2013).

Eğer iki döküm parçasının köşeleri birbirine oturmuşsa sağdaki biçimde tasarlanarak rahatlama sağlanır (Şekil 5.16).



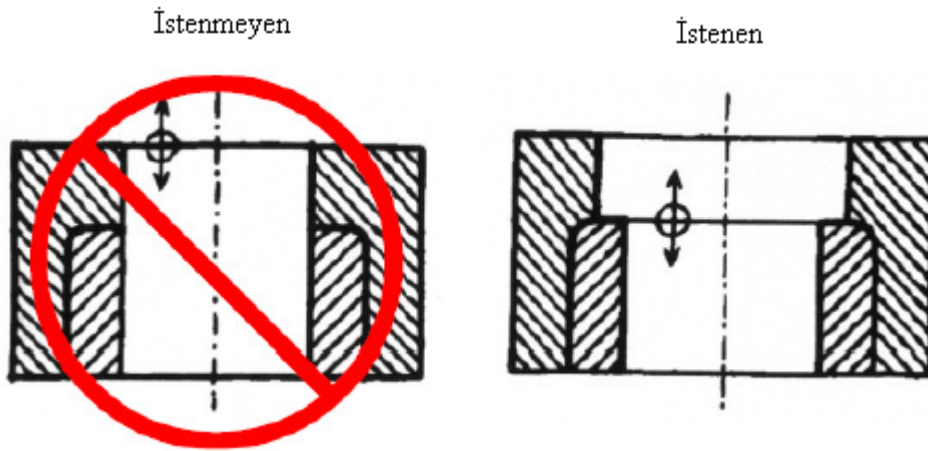
Şekil 5.17: Model biçimlendirme ilkeleri (Teknik Bilgi Hazinesi 2013).

Yuvarlak kısımlarda keskin köşelerden kaçınılmalıdır (Şekil 5.17).



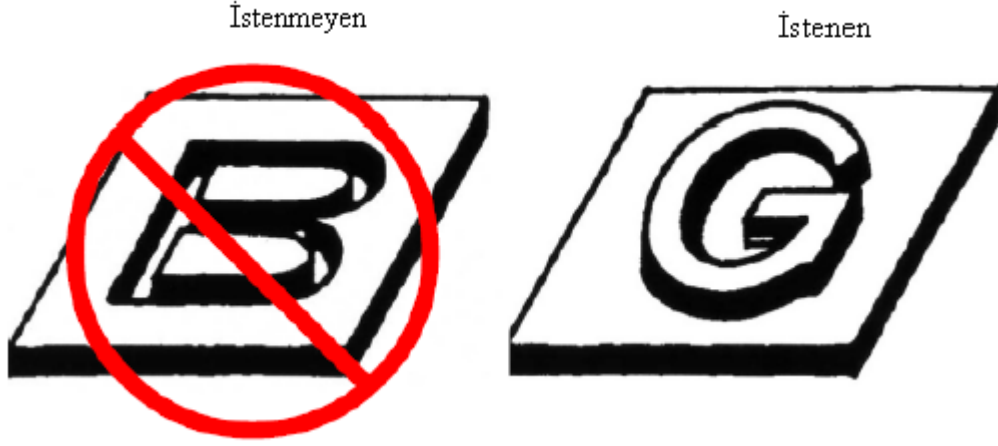
Şekil 5.18: Model biçimlendirme ilkeleri (Teknik Bilgi Hazinesi 2013).

Her iki tarafta havşa olmalıdır (Şekil 5.18).



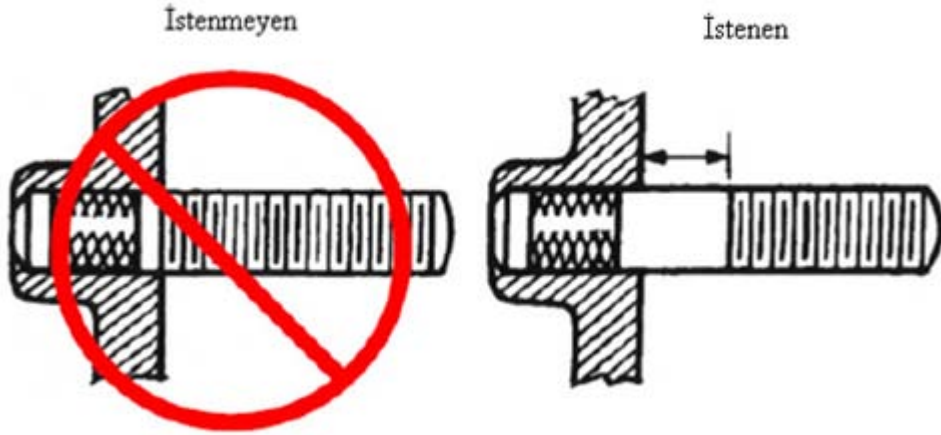
Şekil 5.19: Model biçimlendirme ilkeleri (Teknik Bilgi Hazinesi 2013).

Ayrık parçalar döküm sırasında sağdaki şekilde desteklenir. Tasarım prensiplerinden (Şekil 5.19).



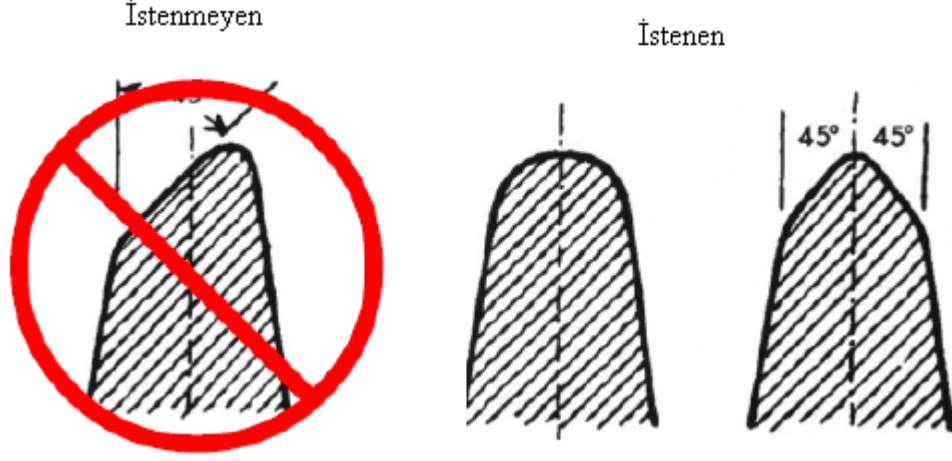
Şekil 5.20: Model biçimlendirme ilkeleri (Teknik Bilgi Hazinesi 2013).

Kabartmaların maliyeti oymalardan daha düşüktür (Şekil 5.20).



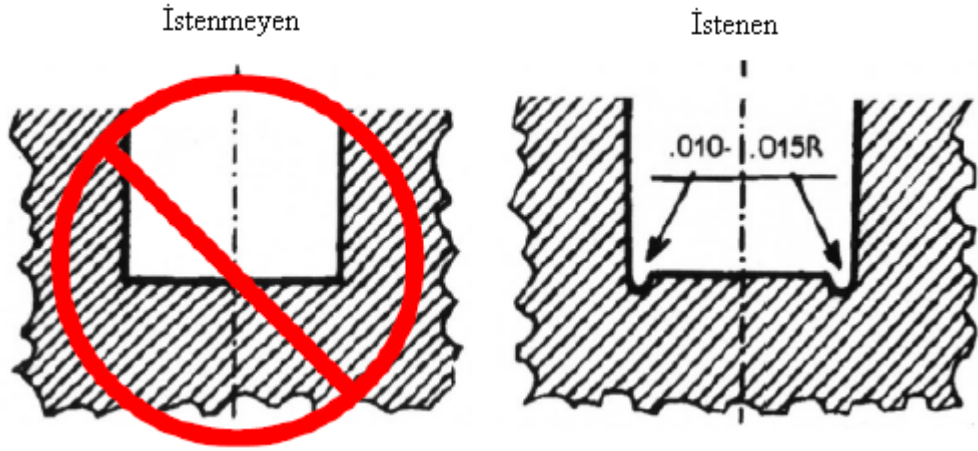
Şekil 5.21: Model biçimlendirme ilkeleri (Teknik Bilgi Hazinesi 2013).

Vidada yüzeyler arasında aşınmayı önlemek için boşluk bırakılır (Şekil 5.21).



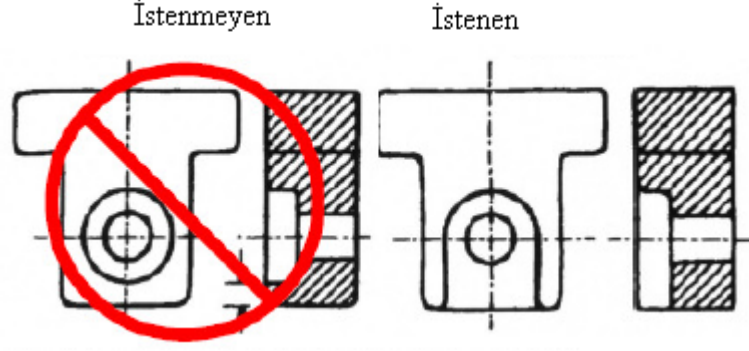
Şekil 5.22: Model biçimlendirme ilkeleri (Teknik Bilgi Hazinesi 2013).

Bazı dış hatlar bu biçimde metal kalıba daha kolay işlenir (Şekil 5.22).



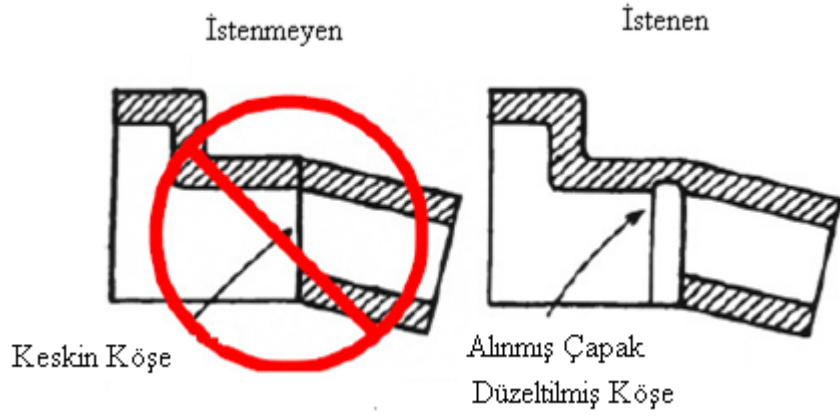
Şekil 5.23: Model biçimlendirme ilkeleri (Teknik Bilgi Hazinesi 2013).

Keskin iç köşeleri korumak zordur. Radyüslü tasarımlar gerçekleştirilir. Uygun tasarım sağdaki şekil (Şekil 5.23).



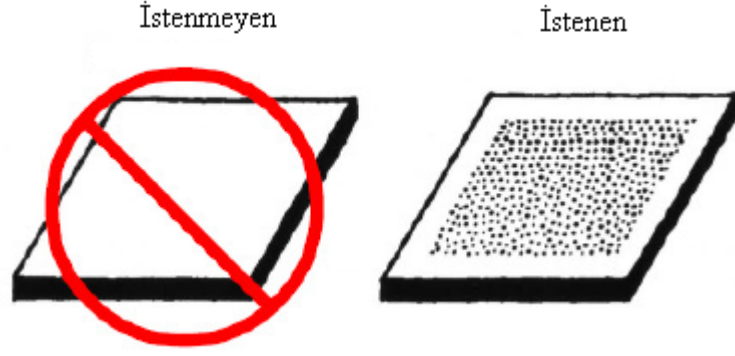
Şekil 5.24: Model biçimlendirme ilkeleri (Teknik Bilgi Hazinesi 2013).

Yukarıdaki ince duvar ortadan kaldırılır (Şekil 5.24).



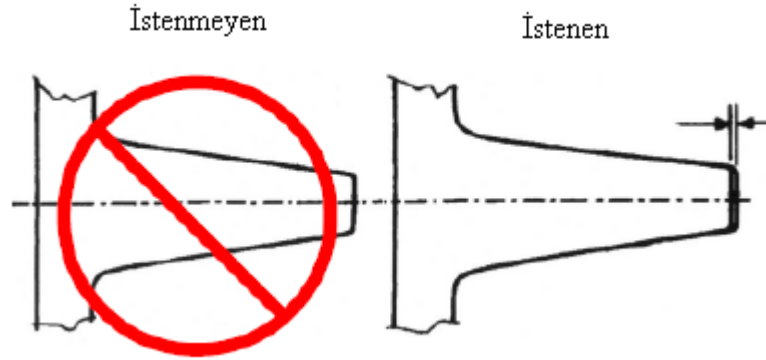
Şekil 5.25: Model biçimlendirme ilkeleri (Teknik Bilgi Hazinesi 2013).

İç yüzeylerde çapak temizlemek için sağdaki şekilde olduğu gibi basitleştirme yapılır (Şekil 5.25).



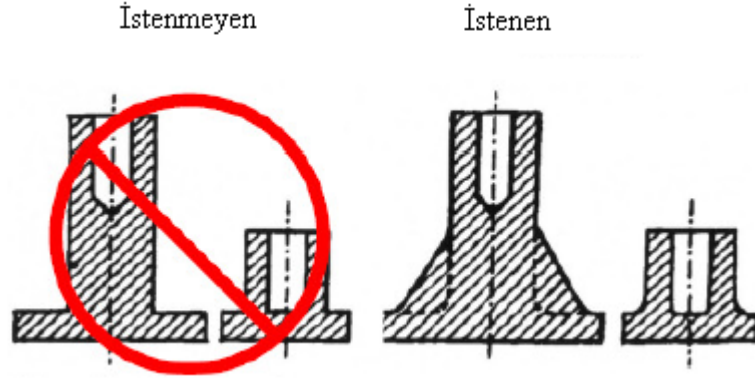
Şekil 5.26: Model biçimlendirme ilkeleri (Teknik Bilgi Hazinesi 2013).

Büyük düz yüzeylerden kaçınılmalıdır. Elden geldiğince pürüzlü nervürlü noktalı vb. yüzeyler öncelikli olmalıdır (Şekil 5.26).



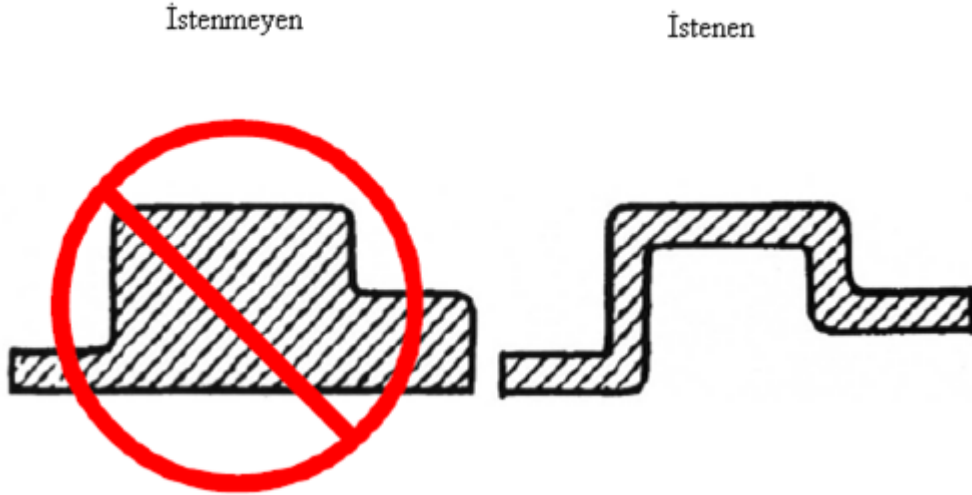
Şekil 5.27: Model biçimlendirme ilkeleri (Teknik Bilgi Hazinesi 2013).

İşleme payı için bu tür modellerde ek pay bırakılmalıdır (Şekil 5.27).



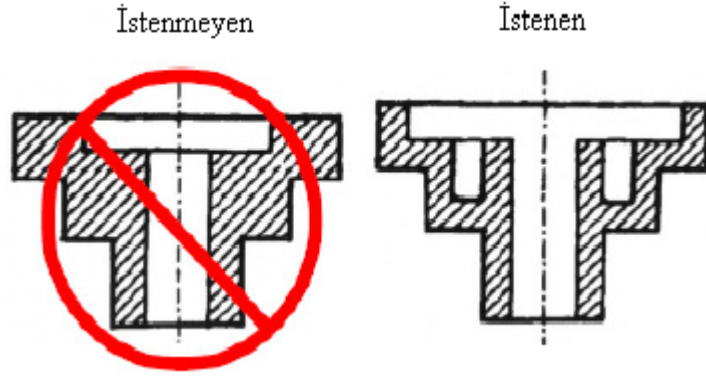
Şekil 5.28: Model biçimlendirme ilkeleri (Teknik Bilgi Hazinesi 2013).

Kaburga ve göbekler çıkıntılı olarak düzeltilmelidir (Şekil 5.28).



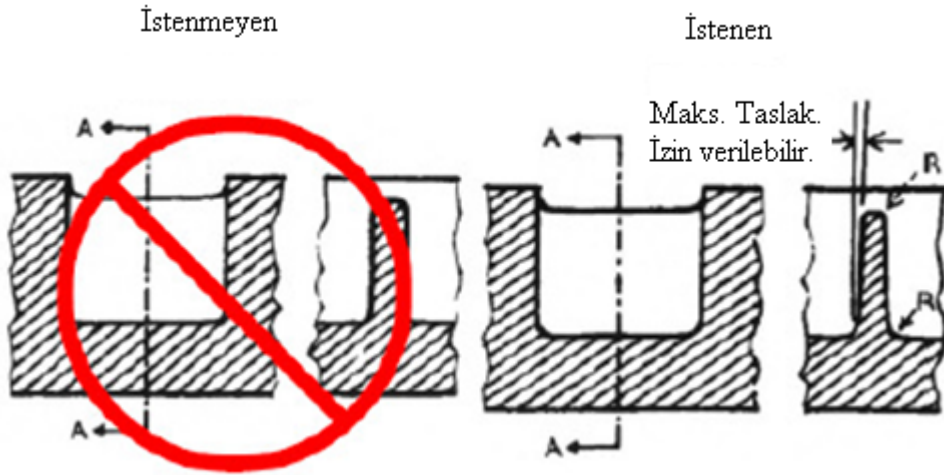
Şekil 5.29: Model biçimlendirme ilkeleri (Teknik Bilgi Hazinesi 2013).

Duvar kalınlıkları mümkünse aynı kalınlıkta düzenlenmelidir (Şekil 5.29).



Şekil 5.30: Model biçimlendirme ilkeleri (Teknik Bilgi Hazinesi 2013).

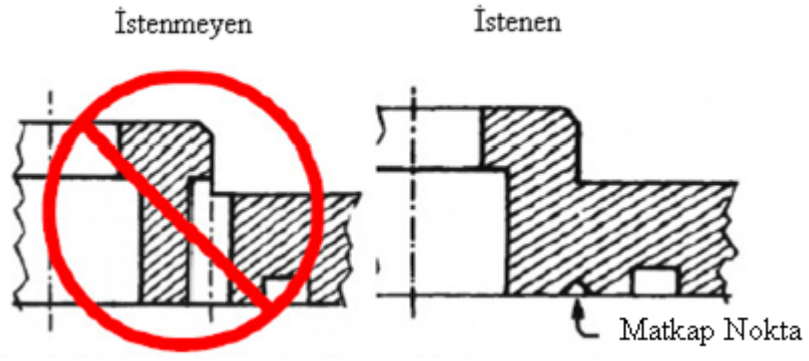
Düzgün duvarlar oluşturmak ve dayanımı arttırmak için ağır bölgelerdeki maça parçalarının yanına kaburga eklenmelidir (Şekil 5.30).



Şekil 5.31: Model biçimlendirme ilkeleri (Teknik Bilgi Hazinesi 2013).

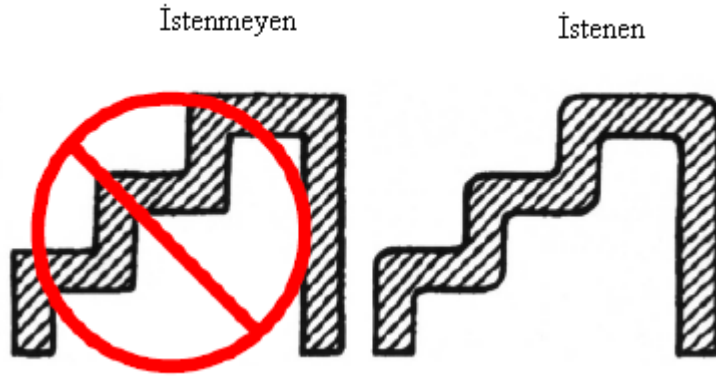
Derin kırışlerin daha kolay çıkarılabilmesi için en uygun form (biçim) verilir. Sağdaki şekilde feder koniktir (Şekil 5.31).





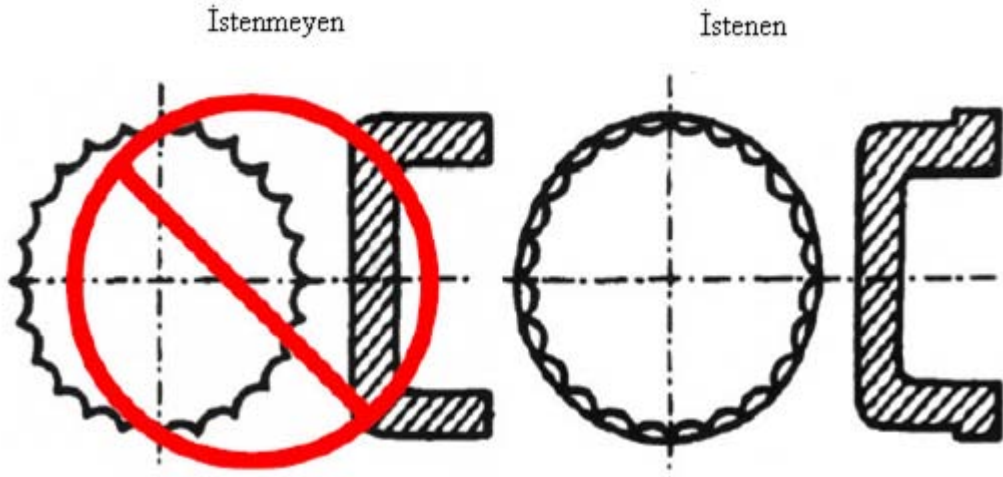
Şekil 5.32: Model biçimlendirme ilkeleri (Teknik Bilgi Hazinesi 2013).

Dış bükey setler metal kalıp imalatında kolaylık sağlar iç bükey girintiler ise zor ve pahalıdır (Şekil 5.32).



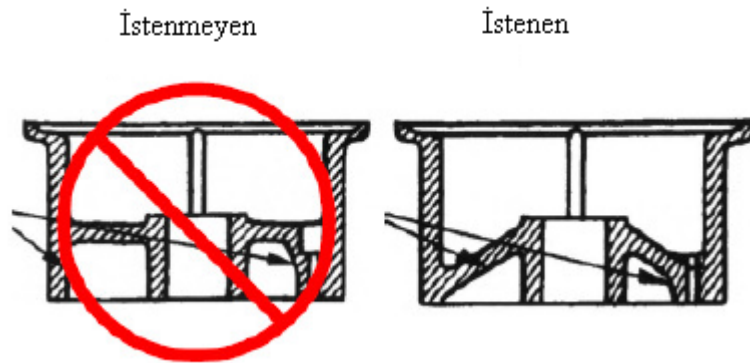
Şekil 5.33: Model biçimlendirme ilkeleri (Teknik Bilgi Hazinesi 2013).

Bütün köşelerde yapılabilen en büyük radyüs verilmelidir (Şekil 5.33).



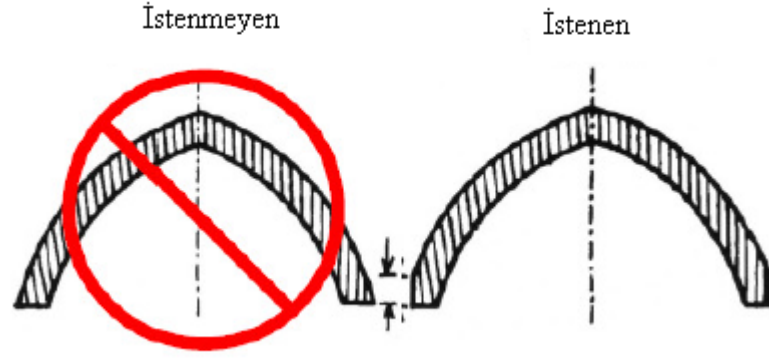
Şekil 5.34: Model biçimlendirme ilkeleri (Teknik Bilgi Hazinesi 2013).

Geçit ve saçakların basitleştirilmesi için tarak üzerine fatura flanş çıkışı verilmelidir (Şekil 5.34).



Şekil 5.35: Model biçimlendirme ilkeleri (Teknik Bilgi Hazinesi 2013).

Bağlantı noktasında maça üzerinde oluşabilecek çekme gerilmelerini ortadan kaldırabilmek için boşluklar değiştirilebilir (Şekil 5.35).



Şekil 5.36: Model biçimlendirme ilkeleri (Teknik Bilgi Hazinesi 2013).

Modelin kalıptan rahatça sıyrılabilmesi için düz olması gerekir (Şekil 5.36).

## 6. KATIŁAŐMA KURALLARI, İÇYAPILAR VE DENDRİTİK İÇ YAPILAR

### 6.1 Katılaşma Kuralları

#### 6.1.1 Katılaşma

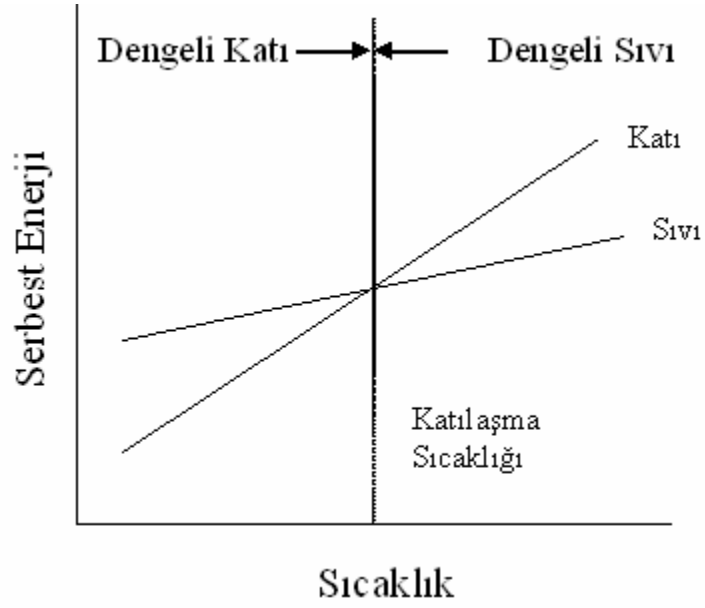
Metal malzemelerin özellikleri büyük ölçüde katılaşma sırasında oluşan içyapı ile belirlenir. Dolayısıyla döküm malzemelerin özelliklerinin kontrol edilebilmesi için katılaşma olayının iyi bilinmesi gerekir. Bir sıvı metalin katılaşması bir kristallenme (katılaşma) ve bu sırada oluşan katılaşma (döküm) içyapısı birinci içyapı olarak adlandırılır. Döküm parçalarda birinci içyapı parça ömrü boyunca hiç deđiŐmeyeceğinden katılaşma olayının çok iyi kontrol edilmesi zorunludur.

Haddeleme dövme gibi plastik Şekil verme sonrasında bu iç yapı ısı veya termo mekanik yöntemlerle yeniden oluşturulabilir ve bu Şekilde ortaya çıkan içyapı ikincil içyapı olarak adlandırılır. Döküm parçalarda bu olanak olmadığından katılaŐmanın kontrolü; ile uygun bir *birincil iç yapının elde edilmesi* çok önemlidir.

#### 6.1.2 Saf Metallerin Katılaşması

##### 6.1.2.1 Çekirdeklenme

Katılaşma sırasında atomik dizilim en düzenli kısa mesafeli düzenden uzun mesafeli düzene veya kristal yapıya kadar deđiŐir. Çekirdeklenme küçük katı parçacıklarının sıvıdan embriyolaŐması ile oluşur. Çekirdek kararlı olmadan önce minimumun kritik çapa ulaşmalıdır. Katının büyümesi atomların sıvıdan oluşan çekirdeklere geçmesi ile oluşur. Bu Şekilde sıvı bitinceye kadar büyüme devam eder (Şekil 6.1).



Şekil 6.1: Katılma sıcaklık ve serbest enerji dengesi (Callister ve Retwisch 2005).

Sıcaklık katılma noktasından daha da aşağıya indiğinde giderek büyüyen enerji farkı katıyı daha dengeli hale getirir.

Katı ve sıvının arasındaki farkı serbest hacim enerjisi =  $DG_v$  dir.

Katının oluşması için katı ve sıvıyı ayıran bir ara yüzeyin oluşması gerekmektedir. Yüzey serbest enerjisi ara yüzey enerjisi  $\delta$  ile birleşmiştir.

Yüzey alanı  $\uparrow$  yüzey serbest enerjisi  $\uparrow$  sıvı katılma noktasına soğutulduğunda sıvı içindeki atomlar kümeleşerek katı malzemeye benzeyen küçük bir bölge oluşturur. Bu olay **Embriyo Oluşumudur** (Callister ve Retwisch 2005).

### 6.1.2.2 Homojen Çekirdeklenme

Sıvının sıcaklığı denge katılma sıcaklığının altında soğutulduğunda atomlar kümeleşerek kritik yarıçaptan daha büyük bir embriyoyu oluşturacaktır.

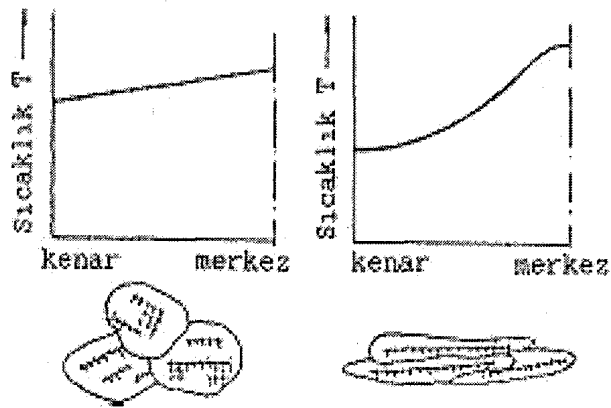
Buna ek olarak alt soğuma embriyonun kritik boyutunu geçmesini sağlayacak kadar büyük olduğunda **homojen çekirdeklenme olur** (Callister ve Retwisch 2005).

### 6.1.2.3 Heterojen Çekirdeklenme

Sıvı metal içinde homojen çekirdeklenme laboratuvar deneyleri dışında gerçekleşmez. Kritik boyuta ulaşmak için istenilen alt soğuma daha azdır. Böylece çekirdeklenme daha kolay oluşur. Bütün mühendislik metal ve alaşımları katılaşma sırasında heterojen çekirdeklenir. Sıvı ile temas eden kalıp duvarları, yabancı madde yada katı parçacıklar çekirdeklenme için uygun yüzey sağlayabilirler (Callister ve Retwisch 2005).

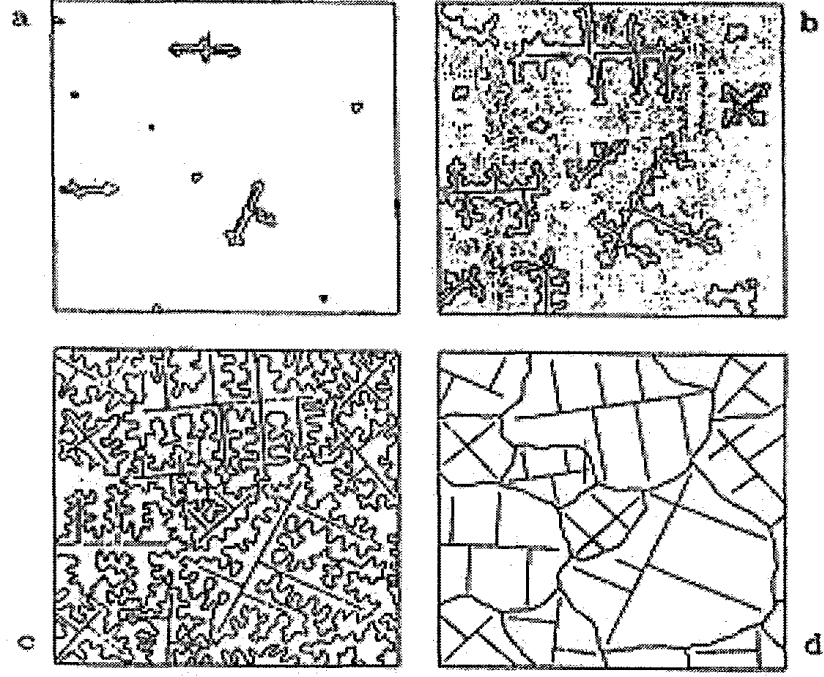
### 6.1.2.4 Kristal Büyümesi: Dendritik

Çekirdek oluşumdan sonra çekirdeklere diğer atomların düzenli olarak eklenmesi ile katılaşma olayı devam eder. Kübik kristal kafese sahip olan metallerde büyüme bazı tercihli yönlerde (Kübik yüzey doğrultusunda) çok hızlı, diğer yönlerde ise daha yavaş olur. Bu şekilde büyüyerek ortaya çıkan kristallerin hacimsel düzenleri *dendrit* olarak adlandırılır. Yapılan araştırmalar kristalleşme biçiminin büyük oranda soğuma koşullarına bağlı olduğunu ortaya koymuştur. Eriyik, ısının her yönden uzaklaştırılmasıyla soğursa eş eksenli yani yuvarlak taneler, düzgün olmayan (Yönlenmiş) ısı iletiminde ise uzun (çubuksu) taneler oluşur (Şekil 6.2).



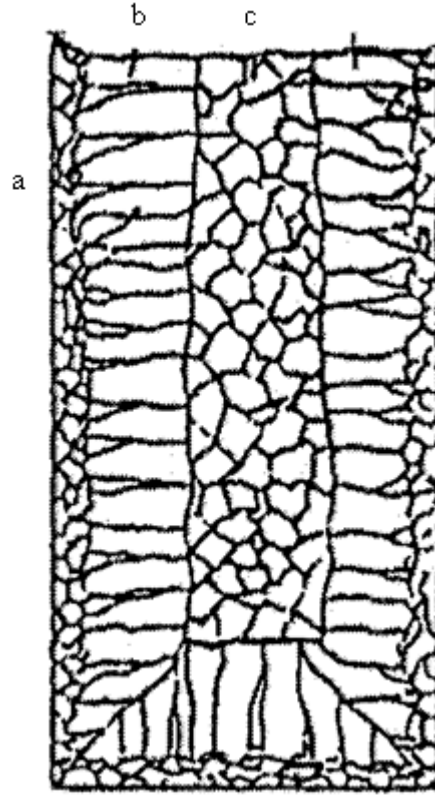
Şekil 6.2: Soğuma sırasında sıcaklık değerinin tane oluşumuna etkisi (Aran 2007).

Çekirdeklenme ve dendritik büyüme ile kristalleşme yüzeylerinin birbiriyle birleşmesi sonucu iç yapının ortaya çıkışı şekil 6.3'de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 6.3: Katılaşma sırasında oluşumlar (a) çekirdeklenme, (b), (c) dendritik büyümeyle (d) katılaşma yüzeylerinin birleşmesiyle oluşan taneler ve tane sınırlarını göstermektedir (Aran 2007).

Döküm parçalarının içyapısındaki dendrit katılaşmadaki soğuma koşullarıyla belirlenir. Burada üç ayrı bölge ortaya çıkabilir (Şekil 6.4). Kalıp yüzeylerinde ani soğuma etkisi ile küçük ve eş eksenli tanelerden oluşan bir kabuk, bunu izleyen bölgede sıcaklık gradyanının etkisi ile uzun çubuksu taneler orta kısımda ise soğuma her yönden gerçekleştiğinden, eş eksenli taneler görülür (Aran 2007).



Şekil 6.4: Kalıp içinde katılaşmada farklı bölgelerde oluşan tane biçimleri (Aran 2007).

- a)-Hızlı soğuma etkisi ile oluşan küçük ve eş eksenli tanelerin olduğu kabuk
- b)-Sıcaklık gradyeni etkisi ile oluşan uzun çubuk taneler
- c)-Soğumanın her taraftan olmasıyla oluşan eş eksenli olan taneler



## 7. ERGİTME OCAKLARI

Eritme Ocakları: Metalin ısıtılarak ergitilmesi için ergitme ocaklarından yararlanır. Bu ocaklarda ayrıca bileşimin ayarlanması, aşılama, safsızlık ve gazların giderilmesi gibi bazı ek işlemler de dökümden hemen önce gerçekleştirilirler. Döküm teknolojisinde bu amaçlarla değişik ergitme ocaklarından yararlanır:

- Potalı ocaklar
- Kupol ocakları
- Alevli Ocaklar
- Elektrikli Ark Ocakları
- Endüksiyon Ocakları
- Elektrik Direnç Ocakları

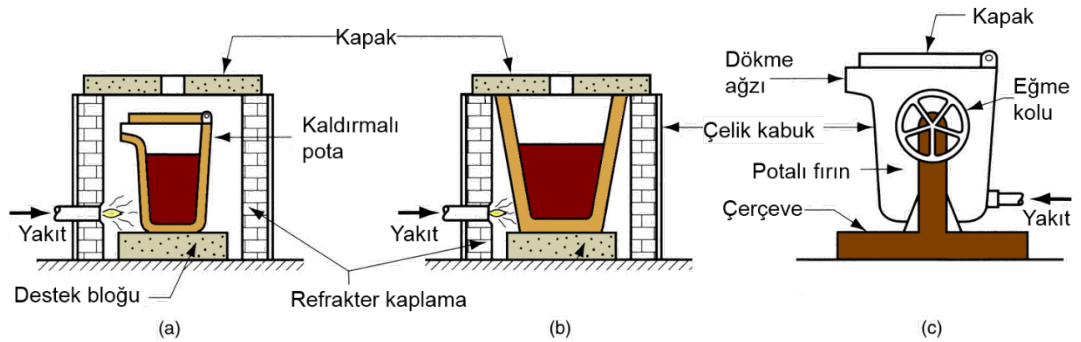
Bir dökümhane için en uygun ergitme ocağının veya ocaklarının seçiminde dikkate alınması gereken başlıca kriterler şunlardır:

- Dökülecek metal veya metallerin türü ve miktar
- İlk yatırım ve işletme giderlerinde ekonomiklik
- Döküm parametrelerini kontrol imkanları ve metalürjik temizlik (Gülmez 2010).

### 7.1 Pota Ocakları

Metal ergitmede kullanılan en basit ve eski araçlar, potalı ocaklardır. Bu ocakların sabit ve devrilebilen tipleri vardır (Şekil7.1). Potalı ocak içi ateş tuğlası ile örülmüş bir metal kabuk ile açılıp kapanabilen bir kapaktan oluşur. Ocağın içinde metalden veya refrakter özellikli malzemelerden (grafit, silisyum, karbür, dökme

demir v.s.) yapılmış bir pota bulunur. Küçük potalar genellikle atölye tabanı seviyesinin altında bulunan sabit çukur ocaklarda, büyük potalar ise taşınmaları güç olduğundan, genellikle devrilebilir tip ocaklar içinde kullanılır. Sabit ocaklarda potalar kapak açılarak çıkarıldığından, üretilen metalin türü ve miktarına uygun değişik potalar seçilerek, ocak çok amaçlı olarak kullanılabilir. Kapasiteleri 15 kg ile 1000 kg arasında değişen potalı ocaklarda, ısı kaynağı olarak çoğunlukla katı, gaz ve sıvı yakıtlar veya elektrik enerjisinden yararlanır. Potalı ocaklarda genellikle alüminyum ve bakır alaşımları gibi düşük sıcaklıkta ergiyen demir dışı metaller ergitilir. Potalı ocaklarda en önemli bir dezavantajı yanma gazları ve/veya ortamdaki nemden kaynaklanan buhar ile ergiyen metalin temasta olmasıdır. Bu gazların (özellikle hidrojen gazının) metal içinde çözünmesini önlemek için ortamın nemden tam olarak arındırılması, fırın atmosferinin hafif oksitleyici olarak ayarlanması ve yanma gazlarının ergiyikle mümkün olduğu kadar az temas etmesinin sağlanması büyük önem taşır (Gülmez 2010).



Şekil 7.1: Potalı ocakların üç türü: (a) kaldırmalı pota, (b) erimiş metalin kepçeyle alınması gereken sabit tip, ve (c) devrilen potalı ocak (Gülmez 2010).

#### **Pota ocakları yakıt cinsine göre dört grupta toplanarak incelenir:**

•**Kok kömürü ile çalışan pota ocakları:** Yakacak olarak kok kömürü kullanılır. Ocak tabanına yakın döküm ızgaralar üzerine pota yerleştirilir. Pota çevresi kok kömürü ile doldurularak ateşlenir. Yanmanın hızını artırmak için vantilatör yardımı ile düşük basınçlı hava verilir. Eksilen kok kömürü yerine zaman zaman kömür ilavesi yapılır. Pota ocak içerisinden çıkarılmadan poşemen ile döküm yapılır.

•**Sıvı yakacaklarla çalışan pota ocakları:** Dışı çelik saçtan yapılmış içi ateşe dayanıklı malzeme ile örülmüş silindirik bir ocaktır. Kullanılacak pota ocak tabanında pota altlığı üzerine yerleştirilir.

•**Gaz yakacaklarla çalışan pota ocakları:** Yakacak olarak gaz yakacak kullanıldığı için bu isimle anılır. Ocak içerisine gönderilen gaz brülörde otomatik olarak ateşlenir. Çalışma ortamı katı ve sıvı yakıtla çalışan pota ocaklarına göre çok temizdir.

•**Elektrik enerjisi ile çalışan pota ocakları:** Genel olarak bir güç ünitesi ve metal ve alaşımların eritildiği pota kısmı ve bunların bir arada bulunduğu platformdan oluşur (Gülmez 2010).

**Bara:**Ergitme ocaklarında pota içerisine atılan katı metallerin yerleştirilmesi ve pota içerisinde olunabilecek çatma olayını engellemek için kullanılan, ucu sivri kalın metal çubuklardır. Temiz, sıvı metal ergitme işlemi sonunda oluşan cürufu almaya yarayan ucu düz kürek şeklindeki metal çubuklardır. **Daldırma kevgiri**, ergimiş sıvı metal içerisindeki oksit ve gazları dışarı almak ya da bazı alaşımları hazırlamada aşılama yapabilmek için kullanılan, üst kısmı delikli, tüp ve bu tüpe bağlı uzun metal demirlerdir. **Pota kolu**, ortası pota çapına göre yuvarlak, bir ucu iki kollu diğer ucu tek kollu olan takımdır. Farklı potalara çapına uygun pota kolu kullanılır. **Kavrama**, ocak içerisindeki ergitme potalarını çıkarmaya yarayan takımlardır. **Kıskaç**, ergitme sırasında pota içerisine katı metal doldurmaya yarayan, sapı uzun metal takımlardır. **Poşemen**, ergitme potaları içerisinden sıvı metal almaya yarayan, yemek kepçesine benzeyen ve değişik çaplarda olan metal takımlardır (Gülmez 2010).

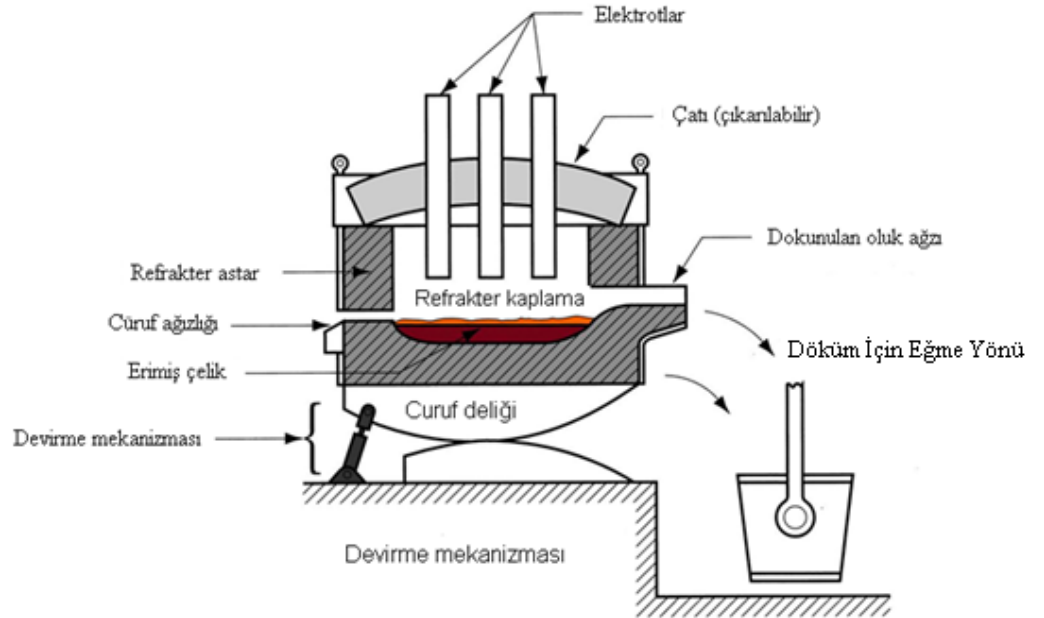
Elektrik Ocakları Döküm ocaklarında elektrik enerjisinden yararlanılması 19. yüzyılın sonlarında başlamış, elektrik enerjisinin giderek ucuzlaması ve yöntemin üstünlüklerinin anlaşılması ile yaygınlaşarak değişik ocak tipleri geliştirilmiştir. Elektrikli ocaklar ARK ocakları, ENDÜKSİYON ocakları ve DİRENÇ ocakları olmak üzere üç gruba ayrılır. Elektrikli ocakların üstünlükleri aşağıdaki gibi özetlenebilir:

•3000°C gibi yüksek sıcaklıklara ulaşmak mümkündür • Sıcaklığın kontrolü kolaydır.

•Çalışma ortamı temizdir, ergitilen metalin bileşimi bozulmaz. Ayrıca arıtma ve alaşımlandırma gibi işlemler kolaylıkla gerçekleştirilebilir.

•Her türlü alaşım için değişik kapasitelerde ocaklar geliştirilmiştir.

**Ark Ocakları:** Burada metalin ergitilmesinde, ocak içinde oluşturulan bir elektrik arkından açığa çıkan ısıdan yararlanır (Şekil 7.2). Elektrik arkı, metal dışında iki elektrot arasında oluşturulursa endirekt ark, elektrotlarla ergimiş metal banyosu arasında oluşturulursa direkt ark ocağından söz edilir. Dökme demir ve çelik ergitilmesinde yaygın kullanılır. Elektrik ark ocaklarında, elektrot olarak üç dikey karbon (grafit) çubuk kullanılmaktadır. Bu elektrotlar ile ocağa konulan metal arasında oluşturulan elektrik arkları ve buna bağlı yüksek ısı yardımıyla metal ergitilir. Bu yöntemin en büyük dezavantajı, çalışma esnasında ortaya çıkan çok büyük gürültüdür (Gülmez 2010).

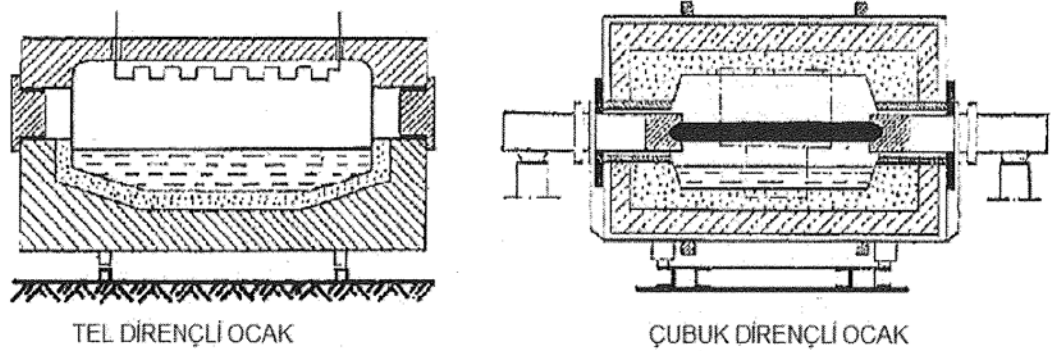


Şekil 7.2: Çelik üretimi için elektrik ark ocağı (Gülmez 2010).

Direkt ark ocaklarının kullanımı daha yaygındır. Direkt ark ocağında genellikle 3 adet karbon elektrot bulunur, bu elektrotlara uygulanan gerilim düşük, akım ise yüksektir. Bu eritme yöntemi yüksek sıcaklıkta ergiyen kaliteli çeliklerin ve alaşımlı dökme demirlerin ergitilmesinde tercih edilir. Direkt ark ocaklarından kapasiteleri en çok 10 - 40 ton olanlar kullanılır (Gülmez 2010).

Ergitme kapasiteleri çok daha düşük olan (en çok 1 ton) **endirekt ark ocakları** ise genellikle demir dışı metallerin ergitilmesinde kullanılırlar.

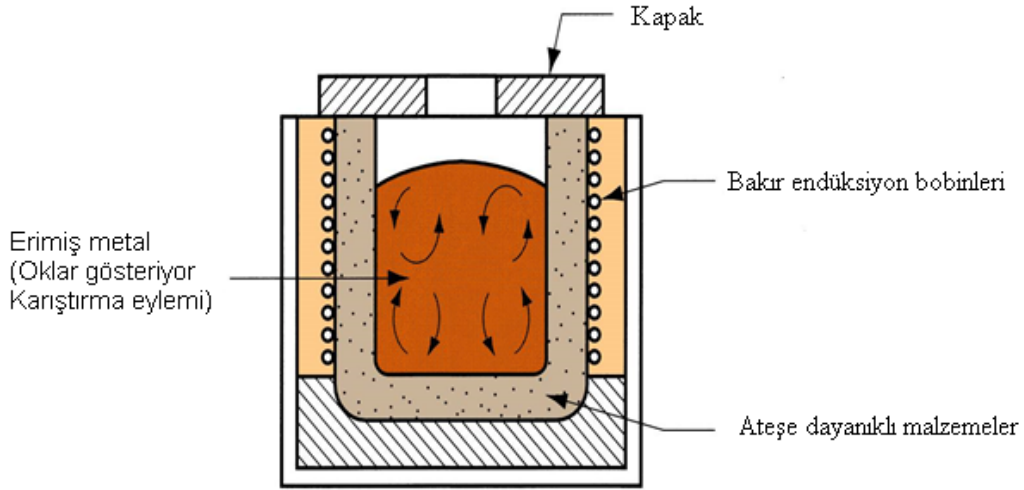
**Direnç Ocakları:** Bu ocaklarda elektrik akımının bir direnç üzerinden geçmesi sırasında oluşan ısıdan yararlanır (Şekil 7.3). Direnç ocaklarının uygulama alanları sınırlı olup, genellikle ergitme sıcaklığı düşük malzemeler için tercih edilirler. Direnç olarak tel veya içinden yüksek akım geçirilen grafit ve silisyum karbür çubuklar kullanılabilir. Bir potanın etrafına sarılan direnç tellerinde meydana gelen ısı ile potada metali eritme prensibine dayanır. Direnç ocakları genellikle düşük sıcaklıklarda ergiyen alaşımlarda kullanılır. 1100°C 'den daha yüksek sıcaklıklar için kullanılmaz. Metal dirençler 1100°C'den daha yüksek sıcaklıklar için kullanılmaz (Gülmez 2010).



Şekil 7.3: Direnç ocağı (Aran 2007).

Kullanılan direnç tellerinin ısıya dayanıklı ve oksitlenmez olması zorunludur. Çoğunlukla krom ve demir karıştırılmış nikel teller kullanılır. Bunlar spiral ve kafes şeklinde ısıya dayanıklı astar içine yerleştirilerek konulabilir. Grafit çubuklu ocaklarda 2000 °C'ye kadar sıcaklık elde edilebilmektedir. Ocağın dış kısmı silindirik sacdır. Ekseni etrafında dönecek şekilde düzenlenmiştir. Grafit çubuklu bir direnç ocağı Tavan kısmından direnç teli yerleştirilmiş direnç ocağı.

**Endüksiyon Ocakları:** Elektrikle çalışan ocakların en önemlisi **endüksiyon ocaklarıdır** (Şekil 7.4). Son yıllarda metalürji sanayisinde kaliteli çelik imali için diğer ocakların yerini almıştır. Bu ocakların kullanılmasıyla çelik maliyetleri düşmüş, sıcaklık ve bileşim kontrolü sağlanmıştır. Elektrodinamik banyo çalkalanmasından dolayı homojen yayılımı çelik niteliklerini de yükseltmiştir. Çelik ergitme uygulamasından birkaç yıl sonra demir dışı metallerin ergitilmesinde de kullanılmaya başlanmıştır. Volfram-kobalt ve nikel- krom çeliklerinin endüksiyon ocaklarında kolayca ergitilebilmesi ve krom, nikel, molibden, vanadyum gibi elementlerin çeliğin özellikleri üzerine etkilerinin tespitinden sonra bu ocağın önemi daha da artmıştır (Gülmez 2010).



Şekil 7.4: Endüksiyon ocağı (Gülmez 2010).

**Prensibi ve Çeşitleri:** Bir iletken, içinden alternatif akım geçtiğinde civarında alternatif manyetik alan oluşturur. Aynı şekilde iletken bir malzeme alternatif manyetik alanın içine girdiğinde üzerinde bir akım akışı oluşur. Bu akım, dıştaki mevcut manyetik alanı yok edici yönde bir zıt manyetik alan oluşturur. Dışarıdaki manyetik alan malzemenin içine ilerlerken bu zıt manyetik alanı yok edici yönde bir zıt manyetik alan oluşturur. Dışarıdaki manyetik alan malzemenin içine ilerlerken bu zıt manyetik alandan dolayı zayıflar. Bu nedenle akımın büyük kısmı yüzeye yakın oluşur. Zıt manyetik alanın şiddeti frekansın bir fonksiyonudur. Frekans arttıkça yüzeyde oluşan akım, zıt manyetik alan oluşturmada daha etkili olur. Pota ve sabit haznenin etrafında bulunan endüksiyon bobini ve ocağın

içerisindeki metal, endüksiyon ocağının ergitme için gerekli en temel donanımını oluşturmaktadır. Pota dışındaki endüksiyon bobininden geçirilen alternatif akım, sürekli yön değiştiren elektromanyetik değişken alanlar meydana getirir. Malzeme içerisinde oluşan bu endüktif elektrik alanları ise malzemenin öz direnci vasıtası ile ısı enerjisine dönüşür. Özellikle önemli alaşımlı çeliklerin (ör. volfram-kobaltlı ve nikel-kromlu çeliklerini başarılı bir şekilde ergitir (Gülmez 2010).

Endüksiyon ocakları, *çekirdekli-nüveli (kanallı)* ve *çekirdeksiz-nüvesiz olmak* üzere iki gruba ayrılırlar. Her iki ocakta da metali normal bir transformatörün birincil sargısı olarak düşünülebilecek elektrik bobini çevreler. Bu bobinden geçen alternatif akımı ikincil sargı olarak düşünülebilecek iletken metal içinde girdap akımları, endükleyerek ısının açığa çıkmasına neden olur. Isı, doğrudan doğruya ergitilecek metal içinde ortaya çıktığından, çok temiz ve hızlı bir ergitme gerçekleşir. Hat frekansından (50 Hz) yüksek frekanslara (10000 Hz) kadar değişik elektrik kaynaklarıyla çalışan endüksiyon ocaklar, mevcuttur. Erimiş metalde oluşan akımlar, metal banyosunda bir karışma hareketi de sağlar. Bu ocaklar çelik, dökme demir, alüminyum alaşımları gibi değişik metallerin eritilmesinde kullanılabilir. *Çekirdekli-nüveli (kanallı) Nüveli veya kanallı endüksiyon ocakları* yıllardır bakır ve alüminyum alaşımları endüstrisinde standart bir teçhizat olarak kullanılmaktadır. Bu tip ocakların dökme demir dökümhanelerinde tercih edilmeleri son yıllarda olmuştur. Bugün ise kullanımını hızla artmaktadır. *Nüveli ocak endüktörleri demirin eritilmesinde %95 elektriksel verimlilikte* çalışabilmekte olup bu değer nüvesiz ocaklardan %20 kadar daha yüksektir (Gülmez 2010).

Kanallı ocaklar, aynı büyüklükteki nüvesiz bir ocağa nazaran, ihtiva ettiği beher ton sıvı metal başına ısısal kayıpları daha alt düzeyde tutan bir yapıya sahiptir. Bu iki avantaj, ocakta sıvı metal bırakmak gereğine rağmen, belirli uygulamalar için kanallı ocakların seçimine neden olmaktadır (Gülmez 2010).

Çekirdeksiz Nüvesiz ocaklar çok geniş kullanım alanına sahip olmaları nedeniyle popülerliğini korumaktadır. Çok çeşitli alaşımların hazırlanabilmesine uygun olmalarından işletme esnekliği sağlamaktadırlar. Hem demir bazlı, hem de demir dışı metal ve alaşımların eritilmesine uygun olup ihtiyaca göre günde yalnızca birkaç ergitme ve seri imalat için devamlı ergitmeye elverişli yapıdadırlar (Gülmez 2010).

### **Nüvesiz( potalı ) ocakların 3 ana tipi mevcuttur:**

1.Şebeke frekanslı ocaklar

2. Orta frekanslı ocaklar

3. Yüksek frekanslı ocaklar Çekirdeksiz tip endüksiyon ocağında potanın etrafı su ile soğutulan bakır borudan yapılmış bir bobin ile çevrilidir.

*Kanallı (çekirdekli) endüksiyon ocaklarında çalışmaya ilk başlarken kanalı dolduracak kadar bir sıvı metalin doldurulması gerekirken, çekirdeksiz tipteki ocaklar doğrudan katı kütleyi ergitebilmektedirler. Endüksiyon ocaklarının bir diğer türü de, ergitmenin vakum altında yapıldığı vakum endüksiyon ocaklarıdır. Bu ocaklarda metal ergiyiklerinin, atmosfer ile teması, önlenir.*

Soğutma Sistemleri Ocak bobinini, elektriksel kayıplardan meydana gelen ısıdan ve ergimiş banyonun konveksiyonla ısıtmasından korumak için meydana gelen ıyıyı dağıtmak üzere genellikle bir kapalı soğutma suyu devresiyle soğutulur.Ocak Potası İçerisinde metal ve alaşımlarının ergitildiği; bakır bobinlerin, içerisinden geçen suyla soğutulduğu; yüksek ısıya dayanıklı, refrakter malzemelerden oluşmuş hazneye ocak potası denir (Gülmez 2010).

### **Astar Çeşitleri**

– **Bazik Astar:** Endüksiyon ocakları için en fazla kullanılan bazik astar malzemesi magnezyum oksittir (MgO) ve çoğunlukla magnezit olarak bilinir. Bazik bir magnezit astar normal olarak periklas ve kil, krom oksit, silika, demir oksit ve kalsiyum oksit ile MgO'in bileşimlerinden meydana gelir. Bağlayıcıların ilavesi daha sağlam sinterlemeyi sağlar. Magnezit astarın en büyük dezavantajı banyodan metal kapmasıdır. Bir çelik ergitildiği zaman banyodan çatlaklara girer ve diğer ergitme işleminde bir kısmı banyoya geçerek o ergitmenin yapısını bozabilir. Bazik magnezit astarlar, esas itibariyle yüksek sıcaklığa ve daha korozif cürüflara maruz kalacak çelik endüstrisinde kullanılmaktadır. Bunların demir dökümhanelerde kullanılmaları sınırlanmıştır. Demir dökümhanelerin çalışma sıcaklığında silikanın, gerçekte fazla bir genleşme veya çekmesi yoktur (Gülmez 2010).



**-Asidik Astar:** Silika ( $SiO_2$ ) esaslı refrakter malzemeler, dökme demir dökümhanelerinde kullanılan çekirdeksiz endüksiyon ocaklarında hemen hemen değişmez bir astar malzemesidir. Buna neden olarak ucuzluğu ve amaca uygunluğu gösterilebilir. En fazla kullanılan asit astar malzemesi ise tabii olarak bulunan kuartzittir. İsveç yatakları daha fazla saf ve homojen yapıdadır. Bu yatakların kuartzitlerinin parçaları keskin ve köşelidirler ve astarlamadaki sıkıştırımda yüksek yoğunluk sağlarlar. Silika, MgO gibi yüksek demir oksit ihtiva eden cüruflara karşı dayanıklı değildir. Silika astarın en büyük avantajı fiyatı olup bazik astara nazaran hemen hemen yarı fiyattadır. Diğer bir avantajı da ergitme esnasında astar banyo içindeki elementlerle kirletilemez ve dolayısıyla çok değişik bileşimdeki ergitmeler arasında astarın temizlenmesi için başka bir yıkayıcı ergitmeye gerek kalmaz (Gülmez 2010).

**-Nötr Astar:** Bunun için ( $FeO-Cr_2O_3$ ) kullanılmaktadır; fakat kromit banyo tarafından redüklenerek banyonun krom kaplamasına ve aşırı aşınmasına sebep olur. Zirkon ( $ZrO_2-SiO_2$ ) nötr astarda yeterli bir bağ sağlamak çok zordur ve dolayısıyla astarın kullanılmasında farklılıklar mevcuttur. Alümina astarlar ise fazla yüksek sıcaklık şartları altında çekirdeksiz endüksiyon ocaklarında ara sıra kullanılmaktadır. Kanallı endüksiyon ocaklarının endüktör kanallarında daha fazla kullanılma sahası bulmaktadır. Korundum nötr olarak kabul edilebilir ve çelik ergitme ocaklarında 1700°C civarında veya daha yukarı sıcaklıklar için kullanılır. FeO bakımından zengin cüruflara karşı nötr astarlar magnezit astarlar kadar dayanıklı değildirler (Gülmez 2010).

Yukarıda verilen astar çeşitlerinin seçiminde; Demir dökümü için *en uygun astarmalzemesi asit astar yani kuvarsit ( $SiO_2$ )*, Çelik veya kaliteli çeliklerde *bazik ( $MgO$ ) ve nötr ( $Al_2O_3MgO$ ) astar malzemelerinin* kullanılması uygundur. Dikkat etmemiz gereken en önemli nokta, seçilen astar malzemesinin ergitilen metale uygun özelliklerde olmasıdır. Ayrıca astar üreticilerinin vereceği bilgiler de göz önünde bulundurulmalıdır (Gülmez 2010).

## 7.2 Kupol Ocakları:

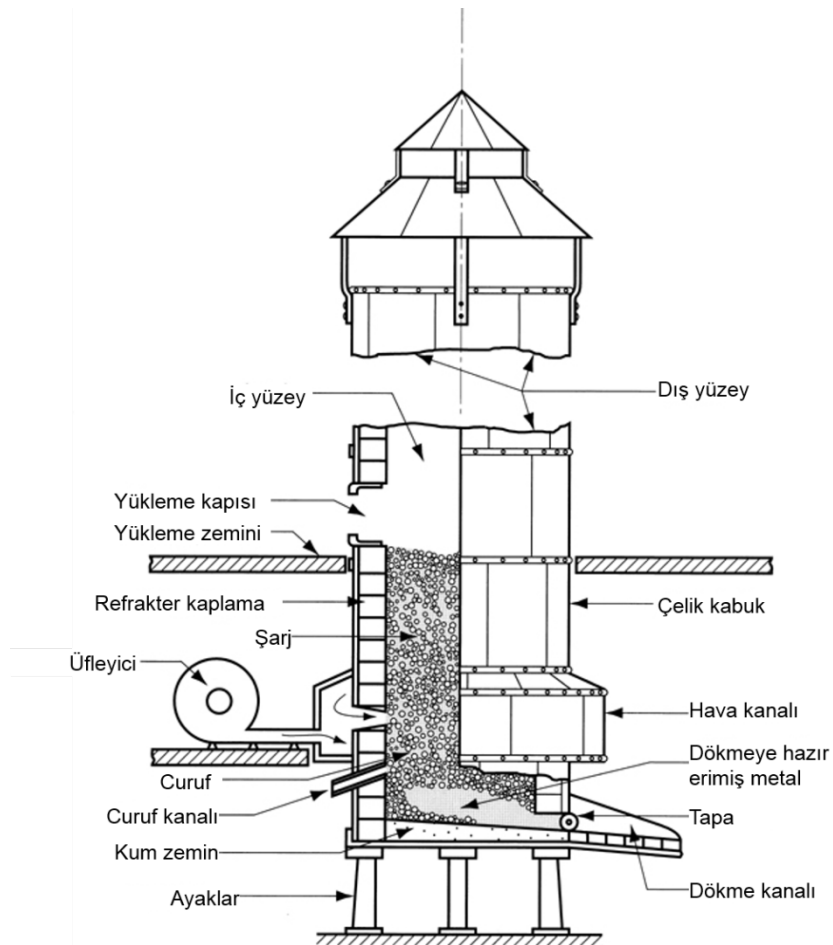
Tabanına yakın yerde döküm ağızı olan dikey silindirik ocaklardır (Şekil 7.5).

-Sadece dökme demir için kullanılırlar

-Diğer ocaklar da kullanılmasına rağmen, en büyük tonajlı dökme demirler kupol ocağında eritilir.

-Demir, kok kömürü, kireçtaşı ve diğer muhtemel alaşımları içeren “şarj”, kupol yüksekliğinin yarısından daha aşağıya yerleştirilen bir şarj kapısından üst üste tabakalar halinde yüklenir.

Alt bölümde bulunan pencerelerden(tüyer) basınçlı hava üflenerek tutuşturulmuş kokun yanması hızlandırılır. Ergiyerek kok yatağına süzülen sıvı demir belli aralıklarla dökme kanalından alınır (Gülmez 2010).



Şekil 7.5: Kupol ocağının kesiti (Gülmez2010).

## 8. DÖKÜM TASARIMI VE PERFORMANS

### 8.1 Döküm Tasarımı Sorunları ve Uygulamaları

TASARIM, maliyet etkin, yüksek kaliteli dökümlerin geliştirilmesinde kritik bir ilk adımdır. Başarılı bir döküm tasarlamak, entegre, eşzamanlı bir mühendislik yaklaşımı gerektirir. Aynı zamanda, gelişmiş bilgisayar destekli tasarım yazılımı ve döküm analizi ve simülasyon yazılımının sistematik ve yapılandırılmış kullanımını gerektirir. Bu bölümde, iyi döküm tasarımını etkileyen bu ve diğer konuları inceleyeceğiz. Özellikle, döküm performansını ve maliyetini yönlendiren tasarım kararları tanımlanır ve döküm tasarımına önerilen bütüncül bir yaklaşımın temeli olarak kullanılır. Bu yeni tasarım felsefesi ve metodolojisi, tasarım zamanını ve çabasını en aza indirirken dökümün yapısal performansını ve üretilebilirliğini optimize etmeyi amaçlıyor.

Dökümde, üretilen parça ve parçayı üretmek için kullanılan takımlar karmaşık yollarla etkileşime girerek hem dökümün kalitesini hem de maliyetini etkiler. Bu, başarılı bir atış tasarımının hem fonksiyonel hem de proses gereksinimlerini aynı anda düşünen entegre bir yaklaşımı gerektirdiğini göstermektedir. Bununla birlikte geleneksel ortamda, tasarım mühendisi tipik olarak ilk olarak bir döküm geometrisini kararlaştırır ve ardından döküm mühendisi kalıp ve prosesi bağımsız olarak geliştirir. Bu ayrıştırılmış düzenleme çoğunlukla, gerekenden daha büyük emniyet faktörleri ile daha pahalı dökümlerle sonuçlanır. Buna ek olarak, bu yaklaşımı kullanarak döküm geliştirme için öncülük süreleri aşırı olabilir.

İmalatçılar, ürünlerin ağırlığını ve maliyetini azaltmaya çalıştıklarından, döküm birçok durumda tercih edilen üretim süreci olarak yeniden ortaya çıkmıştır. Döküm, son derece karmaşık işlevsel şekilleri hızlı ve kolay bir şekilde üretebilmenin önemli bir avantajını sunar. Maliyet azalır, çünkü çok sayıda parça ve kompleks yapım ve işleme, tipik olarak yapı yapılar ve kaynaklar ile ilişkili olarak tek bir döküm parçası ile değiştirilebilir. Malzeme, gerekli olduğu yere

dağıtılabileceği için ağırlık azaltılır ve yük bölüm ara yüzleri arasında (yani bağlantı elemanları veya kaynak yoluyla) aktarılamadığından bölümler daha ince olabilmektedir.

Bu benzersiz özelliklerden yararlanmak için, dökümlerin baştan düşünülmesi ve tasarlanması gerekir. Bu, tasarım mühendislerinin ve döküm mühendislerinin döküm tasarımını ve gelişim sürecini tarihsel sıralı, ayrıştırılmış yaklaşımdan daha entegre ve eşzamanlı bir yaklaşıma dönüştürmesi gerekeceği anlamına geliyor. Bu yeni yaklaşım, parça geometrisinin, dökümün yük taşıma işlevselliğini sadece etkilemediğinin yanı sıra, dökümün imalinde yer alan kalıp yapımı, kalıp doldurma ve malzeme katılaştırma süreçlerini de tanınması üzerine kurulmalıdır. Bu işlemler döngü süresini, döküm kalitesini ve akma mukavemeti, nihai dayanıklılık ve yorulma direnci gibi malzeme özelliklerini etkiler. Döküm geometrisinin bu nedenle işlevsel ve işleme gerekliliklerine dayalı olarak belirlenmesi gerekir. Dolayısıyla, tasarım mühendisleri döküm sürecinden daha fazla bilgiye sahip olmalı ve döküm mühendisleri, tasarımı yönlendiren işlevsel gereklilikleri daha iyi anlamalıdır. Özünde, yeni tasarım felsefesi, yalnızca iyi bir parça ve yöntem tasarımını kolaylaştırmakla kalmamalı, aynı zamanda öğretmelidir.

Bu yazı iyi döküm tasarımı ile ilgili konuları ve uygulamaları tartışıyor. Makalenin genel konusu döküm dizaynı ve özellikle kum ve kalıcı kalıp alüminyum döküm üzerine odaklanıyor. İlk olarak döküm tasarım sürecini çeşitli tasarım ve işleme perspektiflerinden inceleyerek başlamaktayız. Daha sonra yeni bir döküm tasarım felsefesi ve metodolojisinin temelini oluşturan tasarım sürecinin iyileştirilmesi için stratejiler önerilmektedir. İki olası uygulama sunulmuştur. İlk olarak, döküm geometrisini ve proses tasarımını entegre ederek geleneksel döküm tasarım uygulamasını hızlı bir şekilde geliştirmek için mümkün olan yapılandırılmış bir takım çalışmasıdır. İkincisi, hafif, yüksek kaliteli ve yüksek performanslı yapısal dökümlerin tasarımı için döküm tasarım yönergelerinin geliştirilmesini içeren uzun vadeli bir yaklaşımdır (ASM International 2009).

## 8.2 Geometri / Malzeme / Süreç Etkileşimleri

Dikkatle planlanan geometri, etkili yük taşıma kapasitesinin ve kabul edilebilir bileşen performansının sırrıdır. Aynı zamanda, yüksek kaliteye (yani, tek biçimli özellikler, sağlamlık, vb.) Ulaşmanın ve alaşımın dökülmesi ve çözülmesiyle ilgili yüksek maliyetli ve zaman alan problemlerden kaçınmanın sırrıdır. Döküm geometrisinin, sıvı ve katı fazlardaki malzemenin ve döküm işleminin nasıl etkileştiğinin anlaşılması, bir işlev, şekil ve üretim bakış açısından en iyi döküm geometrisini belirtmek için gereken bilgileri sağlar. Aşağıda, iyi döküm tasarımına önemli olan çeşitli geometri / malzeme / süreç etkileşimlerini keşfediyoruz. Bu tartışmanın büyük kısmı, Michael Gwyn'in "Metal Döküm Tasarımı İçin Maliyet Etkili Döküm Tasarımı - Kavramsal Bir Çerçeve Geliştirme" başlıklı makaleye dayanmaktadır. Okuyucu, burada değinilen birçok konunun daha derinlemesine tartışılması için bu makaleye atıf yapmaktadır (ASM International 2009).

**Sıvı ömrü**, erimiş alaşımın kalıp kavitesini doldurma kabiliyeti, ince duvarlar ve bölümler oluşturmak için ince dar kanallardan geçebilmesi ve ince yüzey detaylarına uymasındadır. Erime metalinin sıcaklığına ek olarak, akışkan ömrü aynı zamanda kimyasal, metalürjik ve yüzey gerilimi faktörlerine de bağlı. Bu nedenle, her bir alaşımın akışkan ömrü farklıdır. Örneğin, alüminyumun 356 mükemmel akışkan ömrüne sahip olduğu kabul edilirken, alüminyumun 206 akışkan ömrü, yalnızca iyi olur. Sıvı ömrü ince duvar kesiminin minimum duvar kalınlığını ve maksimum uzunluğunu belirler. Aynı zamanda, mümkün olan estetik detayın güzelliğini belirler. Bu nedenle, bir alaşımın sınırlı bir akışkan ömrüne sahip olduğunu bilmek, parçanın daha yumuşak şekillere (yani, cömert yarıçaplar, vb.), Daha büyük harflere, kalıbın alt kısmında ince ayrıntıya, kalıbın üst bölümlerinde kaba detaylara sahip olması, ince kesitlere giden daha büyük koniklikler ve benzer gerektiğini tavsiye eder (ASM International 2009).

**Katılaşma Büzüşmesi.** Çekme üç farklı aşamada gerçekleşir: sıvı büzüşme, sıvıdan katıya büzülme ve katı büzülme. Sıvı çekme, çözüldükten önce sıvının daralmasıdır. Sıvıdan katıya küçülme veya çözülme küçültme, sıvının bağlantısı kesilen atomlar ve moleküller atomların kristalleri ve katı metali oluşturan kimyasal bileşikler şeklinde oluşacak küçülme şeklindedir. Katı büzülme, katı metal

dökümünün ortam sıcaklığını soğuttuğunda gerçekleşen büzülmesidir. Sıvı büzülmesi metal kaster için önemlidir, ancak önemli bir tasarım düşüncesi değildir. Diğer taraftan, katılaşma büzülmesi ve katı çekme, son derece önemlidir ve döküm tasarımı sırasında dikkatle düşünülmelidir.

Farklı alaşımlar, sıvıdan katıya kadar büzülme miktarları farklıdır (örneğin, alüminyum 356 az bulunurken alüminyum 206 orta ila büyük arasındadır). En önemlisi, üç farklı türde çözelti küçültme türü vardır: yönlü, ötektik ve ekviyesli. Dövülebilir demir ve karbon çeliği gibi yönlü olarak katılaştıran alaşımlarda katılaştırma, döküm geometrisi ve kalıptaki termal eğimler tarafından belirlenebilen öngörülebilir yolaklar boyunca hareket eder. Örneğin, katılaşma genellikle kalıp duvarında başlar ve parçanın merkezine doğru dikey olarak hareket eder. Buna ilerleyici çözülme denir. Katılaşma, kalıp yüzey alanının metal hacim oranında daha büyük olduğu ve dökümün daha sıcak bölgelerine doğru gittiği daha serin bölgelerde de başlayacaktır. Buna yönlü solidifikasyon denir. Anahtar, parça geometrisini ayarlamak ve böylece kademeli solidifikasyon sıvı metal kaynağının kaynağını (yükseltici) kapatmadan önce yönlü solidifikasyon oluşabilmelidir. Uygun yol geometrisi olmaksızın (örneğin, yükselen ve azalan), izole edilen iç büzölmeye bağlı boşluklar veya gözenekler oluşabilir.

Ötektik tip solidifikasyonda, sıvı metal soğutulur ve sonra tümüyle çok kısa sürede çözünür. Bu davranış, iç büzölmeyi en aza indirmekte ve yükselticiler için olan ihtiyacı en aza indirmekte ve bu tür alaşımları üçünün en bağışlayıcı yapmaktadır. Gri demir gibi çok az katı çözünürlüğe sahip olan ötektik tip materyallerin çoğu kez yükselmesi gerekmez. Alüminyum 356 gibi, öykünme türü katılaştıran alaşımların, ancak küçük fakat önemli miktarda katılaşma büzöşmesine sahip olması ile ilgili anahtar geometrik kaygı, sıvı metal arzının açık ve işlevsel bir şekilde tamamen solisyon haline gelmesini sağlamaktır.

Kalıp duvarlarından hem kademeli hem de yönde katılaşmaya ek olarak, eşit eksenli bir solidifikasyon davranış sergileyen alaşımlar ayrıca sıvı boyunca katılaşmaya başlar ve katıların eşit eksenli adacıklarından oluşan hassas bölgeler oluşturur. Eş eksenli bu adalar, sıvı metal arzını engelleyerek bu alaşımların beslenmesini zorlaştırıyor. Bu eğilimi telafi etmek için, eşit eksenli tipte katılaştıran bölgeler, küçük termal eğimlere, yani mümkün olduğunca termal olarak nötr olacak

şekilde tasarlanmalıdır. Bu nedenle, bu bölgelerdeki termal kitle yayılmalı ve bölge boyunca eşit dağılmalıdır. Bu, büzülmenin dökümün hacmi boyunca mikroskobik gözenekler halinde dağılmasına neden olur. Dökümde mikroskobik deliklere sahip olma düşüncesi rahatsız edici olsa da, mekanik özelliklere etkisi, küçük boyutlu, yuvarlak şekli ve bu tür alaşımlar için uygun geometri kullanılarak üretilen üniform dağılım ile büyük ölçüde en aza indirgenmiştir. Ayrıca, dökümün muhtemel kritik bölgelerinde yoğunlaşan, daha az uygun parça geometrisinden kaynaklanabilecek büyük, düzensiz gözeneklerden çok küçük gözeneklerin düzgün dağılımı tercih edilir (ASM International 2009).

**Katı büzülme**, genellikle kalıp üreticisinin küçültülmesi olarak adlandırılır, çünkü alet soğutulduktan sonra parça istenilen son boyuta ve şekle daralacak şekilde düzgün bir şekilde boyutlandırılmalıdır. Katı büzülme iki önemli nedenden ötürü kritik öneme sahiptir. İlk olarak, büzülme önceden tahmin edilmeli ve daha sonra model / kalıplar ve göbek kutusu boyutlarına yerleştirilmelidir. Eğer bu doğru yapılmazsa, kabul edilebilir bir üretim dökümünü elde etmek için takımın tekrar tekrar modifiye edilmesi gerekecektir. Bu, tasarım döngüsüne zaman ve maliyet katmakta ve son üründe kalite riski getirmektedir. İkinci olarak, döküm soğuduğunda, bazı bölgeler diğerlerinden daha katı olduğu için düzgün biçimde küçülmeyebilir. Bu, arzu edilmeyen artık streslere ve / veya istenmeyen çarpıklığa neden olabilir. Büzülmeyle öngörülebilir hale getiren ve artık stres ve eğilmeden kaçınan geometrilerin oluşturulması son derece arzu edilir (ASM International 2009).

**Cüruf / püskürtme oluşumu.** Cüruf, tipik olarak, sıvı metalik olmayan bileşiklerden (genellikle paslanmaz refrakterler), alaşım ürünleri ile havadaki oksidasyon ürünlerinden oluşur. Çökme, öncelikle erimiş metalin hava ile tepkimeye girmesiyle üretilen metalik olmayan bileşikleridir. Bazı erimiş metal alaşımları cüruf / pislik oluşumuna diğerlerinden daha duyarlıdır. Bu alaşımlardan yapılan dökümlerin metalik olmayan inklüzyonları içermesi çok daha muhtemeldir. Proses ve kalite kontrol tekniklerine ek olarak, parça geometrisi, metalik olmayan inklüzyonların olasılığını önemli ölçüde azaltmak için kullanılabilir. Örneğin, alaşımlı cüruf / pisli alaşımlardan yapılmış dökümler için, kritik işlenmiş bir yüzeye dahil olma ihtimali, parçayı tasarlayarak bu yüzeylerin kalıbın alt kısmında bulunmasıyla azaltılabilir. Benzer şekilde, donanım tasarımı (ör. Döküm deliği,

haberci ve kapıların konfigürasyonu), türbülanslı akışa ve sürükleyici havaya bağlı olarak oluşan oksidasyon miktarını kontrol edecek şekilde tasarlanabilir (ASM International 2009).

**Dökme Sıcaklığı.** Döküm işleminde kullanılan kalıplar, erimiş metalin son derece yüksek sıcaklığına dayanmalıdır. Çoğu zaman, uygun döküm geometrisi, bu termal suistimale karşı kalıbı sağlam kılmaya yardımcı olabilir. Ayrıca, yüksek dökme sıcaklığının döküm kalitesine olan istenmeyen etkilerinin fark edilmesi yardımcı olabilir. Örneğin, yüksek dökme sıcaklıkları, metallerin küçük kum çekirdeklerine nüfuz etmesi nedeniyle dökme yüzeyinin zayıf olmasına neden olabilir. Bu nedenle, dökme sıcaklığı yüksek olduğunda çekirdek küçük deliklerden ve diğer küçük özelliklerden ziyade makineye yönlendirilmesi önerilir (ASM International 2009).

**Sıvı Akışı.** Bir diğer önemli geometri / proses etkileşimi, erimiş metalin kalıp boşluğuna akışı ile ilgilidir. Daha önce belirtildiği gibi, kapılardan ve diğer kanallardan geçen türbülanslı akış olayı oksitlenme miktarını ve dolayısıyla meydana gelen pislik oluşumunu etkileyebilir. Bir başka düşünce, kalıp boşluğuna akarken erimiş metal tarafından üretilen kuvvet ve Bu etkilerin her ikisi de çekirdeklerin yerini alabilir ve kalıp duvarlarını, özellikle keskin kenarları ve yüksek detay özelliklerini aşındırabileceğinden boşlukta türbülans olur. Akışkan akışından dolayı dik sıcaklık gradyanları da ortaya çıkabilir. Debi çekirdeklerin ve diğer özelliklerin arasından geçmek için ayrılır ve bir araya getirilirse, akış çizgileri, metalik olmayan inklüzyonlar ve diğer çarpmalar akış önünün soğutulması ve oksidasyonundan dolayı ortaya çıkabilir. Akışkan akışının istenmeyen etkilerini en aza indirmek için döküm yavaş yavaş dökülmelidir. Ne yazık ki bu, erimiş metale oksitlenme için daha fazla zaman verir ve işlem döngüsü süresini arttırır. Akışkan akış etkilerinden kaynaklanan istenmeyen etkileşimler, döküm geometrisinin ve donanımın bir sistem olarak tasarlanarak genellikle azaltılabilir veya ortadan kaldırılabilir (ASM International 2009).

**Isı Transfer Hususları.** Geometri, ilgili ısı transferi koşullarının bir anlayışı ile seçilmelidir. Yüksek dökme sıcaklıkları, büyük miktarda ısının kalıba aktarılması



gerektiği anlamına gelir. Geometri ısı kaşamayacak şekildeyse, sıcak nokta oluşabilir. Örneğin, erimiş metal ile çevrili kalıp malzemesinin dar yarımada ları veya dar köşeleri çok hızlı ısınacak ve sonuç olarak, bu bölgelerdeki erimiş metalin çözünmesi çevre bölgelerden daha yavaş olacaktır. Bu sıcak yırtılma veya çekme asılma olasılığını yaratır, çünkü daha sıcak malzeme daha az çekme mukavemetine sahip olacak ve bu nedenle solidifikasyon ve katı bü zülme nedeniyle geliş en iç kuvvetlere karşı daha az direnç gösterebilecektir. Boşluklar da oluşabilir çünkü sıcak nokta bölgesi içindeki malzeme tamamen sıvılaştırılmadan önce sıvı metal besleme yolları kapanır.

Tam tersi durum, erimiş metalin keskin köşeleri veya dar yarımada ları kalıp malzemesi ile çevrelendiğinde ortaya çıkar. Bu gibi durumlarda erimiş metal soğur ve çözündürür. Bu genellikle istenen bir durumdur. Bununla birlikte, soğutma çok hızlı ise, daha masif komşu bölgelerde daha yavaş bir oranda çözünme küçülmesi ile katılaşan yüzeyin veya ince bölgenin gerilmesi nedeniyle soğuk çatlamaya neden olabilir. Ayrıca, bazı alaşımların hızlı soğutulması nedeniyle makine veya istenmeyen malzeme özellikleri zayıf olabilir (ASM International 2009).

**Geometri / Alaşım Etkileşimleri.** Çoğu durumda, en uygun döküm geometrisini belirleyen, belirli bir alaşımın sahip olduğu malzeme özelliklerinin kombinasyonudur. Örneğin, gri demir, orta derecede yüksek bir dökme sıcaklığı, mükemmel akışkan ömrü ve çok küçük ötektik tip solüsyondan arındırma oranına sahiptir. Sonuç olarak, nispeten yüksek dökme sıcaklığına bağlı olarak sıcak noktalar tehlikesi için kabul edin, gri demir döküme çok uygun olur. Mükemmel akışkanlık ömrü, ince detaylara ve incelti miş parçalara izin verir ve düşük çözünürlüklü küçülme, önemli bir geometri yüksekliği sağlar.

Alüminyum 356, dökme sıcaklığı düşüktür, mükemmel akışkan ömrü ve yönlü tipteki çözeltiden daha fazla ötektik türü vardır. Düşük dökme sıcaklığı, hassas dökümler için mükemmel bir aday olmasını sağlar. Ayrıca, mükemmel akışkan ömrü her yerde ayrıntılı ve ince duvarlara izin verir. Bununla birlikte, halen nispeten küçük olmasına rağmen, solüsyonla çekme küçülmesi, özellikle yükselmekte olan kesit boyu ve besleme yolları açısından dikkate alınması için önemlidir. Alüminyumun cüruf oluşumuna duyarlılığı da önemlidir. Çöküntü belirli bir sorundur, çünkü

alüminyum oksitin özgül ağırlığı ergimiş alüminyumun cisminde yakındır ve bu nedenle yüzdürme ayırmaya yardımcı değildir.

Karbon çeliği, spektrumun zıt ucundadır. Çelik çok yüksek bir dökme sıcaklığına, kötü akışkanlığa ve büyük boyutlu, katılaşma küçültmesine sahiptir. Malzeme özelliklerinin bu kombinasyonu, çeliği döküm için çok uygunsuz yapar. Sonuç olarak, döküm geometrisine özen gösterilmesi zorunludur. Kötü akışkanlığı ve yüksek dökme sıcaklığını göz önüne alarak, ayrıntılı ve ince bölümler zordur. En önemlisi, büyük solüsyon çekmesi nedeniyle, dökümün beslenmesi büyük bir endişe kaynağıdır. Yükselticiler büyük olmalı ve geometri dökümün düzgün beslenmesini sağlamak için dikkatlice tasarlanmalıdır. Gayri maddi özellik kombinasyonu nedeniyle, çelik ve bunun gibi materyallerin, gri demir gibi döküm kolay malzemelere kıyasla daha yumuşak şekiller (yani geniş yarıçap, yuvarlak şekil, büyük harf ve keskin ayrıntı gerektirmez) gereklidir (ASM International 2009).

### 8.3 Maliyet Faktörleri

Döküm tasarımına bakmanın ikinci bir yolu, döküm geometrisiyle ilgili tasarım kararlarının dökümün toplam maliyetini nasıl etkilediğini anlamaktır. Toplam maliyet olarak, ömrü boyunca dökümün tasarımı, üretimi, dağıtımını, kullanımını ve kurtarılmasından kaynaklanan hem doğrudan hem dolaylı tüm maliyetlerin toplamı demektir. Toplam maliyetin tüm bileşenleri önemlidir, ancak bu yazıda özellikle tasarım kararlarının dökümün üretimi ile ilgili doğrudan maliyeti ve kalıp tasarımı, yapımı ve kanıtlanması maliyetini nasıl yönlendirdiğiyle ilgileniyoruz. Bu maliyet, birim bazında aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$Maliyet = \frac{C_T}{N} + C_c + VC_m + \frac{C_0 t_{cycle}}{Y} + C_s \quad (8. 1)$$

Burada:

$C_T$  = toplam kalıp maliyeti (\$)

$N$  = ömür boyu döküm sayısı

$C_c$  = maçanın maliyeti (\$ / birim)

$V$  = toplam dökme hacmi ( $\text{in}^3$ )

$C_m$  = alışım maliyeti (\$ /  $\text{in}^3$ )

$C_0$  = döküm ekipmanı ve işçilik maliyeti (\$ / saat)

$t_{cycle}$  = toplam döküm döngü süresi (saat)

$Y$  = verim (kullanılabilir dökümler / N)

$C_s$  = ikincil işleme maliyeti (\$ / birim)

Şunu vurgulamakta yarar var, toplam kalıp maliyeti ( $C_T$ ) kalıplamayla ilgili tüm maliyeti kapsar, model maliyeti ve maça kutusu inşaatı dahil olmak üzere, ilk parçanın üretilmesi ve incelenmesi maliyeti, ve spesifikasyonları karşılamak için kalıbı iteratif olarak değiştirme maliyeti. Ayrıca, malzeme hacmi ( $V$ ) sadece dökümün hacmini değil aynı zamanda dökümün beslenmesi için kullanılan besleyiciler, yolluk ve döküm deliğini de kapsar. Toplam döküm çevrimi süresi ( $t_{cycle}$ ) aşağıdaki şekilde verilir;

$$(t_{cycle}) t_{cycle} = t_{np} + t_{build} + t_{cast} + t_{cool} + t_{trim} \quad (8. 2)$$

Burada:

$t_{np}$  = verimli olmayan zaman (saat)

$t_{build}$  = maça yerleşimini de içeren kalıp inşa süresi (saat)

$t_{cast}$  = Döküm zamanı (saat)

$t_{cool}$  = Ortam sıcaklığına soğutma süresi (saat)

$t_{trim}$  = kapıları, besleyicileri vs. kaldırma zamanı (saat)

Birçok döküm birden fazla maçıyı içerdiğinden, birim maça maliyet ( $C_c$ ) şu şekilde hesaplanır,

$$C_c = \sum_{i=1}^{n_c} \left( V' C'_m + \frac{C'_0 t'_{cycle}}{Y'_C} \right) \quad (8. 3)$$

Burada:

$n_c$  = maçaların sayısı

$V'$  = maça malzemesinin hacmi ( $\text{in}^3$ )

$C'_m$  = maça malzemenin maliyeti ( $\$/ \text{in}^3$ )

$C'_0$  = maça yapma teçhizatı ve işçilik maliyeti ( $\$/ \text{saat}$ )

$t'_{cycle}$  = maça yapma döngü süresi (saat)

$Y'_C$  = verim (kullanılabilir maçalar / maçaların ömür sayısı)

Benzer şekilde, ikincil işleme, işleme, ısıl işlem, kaynak, boyama ve kaplama gibi birden fazla işlemi içerebilir. Buna ek olarak, talaşlı imalat gibi prosesler, birkaç farklı işlemi (örneğin delme, frezeleme, taşlama, vb.) gerektirebilir. Bu nedenle, ikincil prosesin birim maliyeti aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$C_s = \sum_{i=1}^{n_s} \left( C''_T + \frac{C''_0 t''_{cycle}}{Y''_S} \right)_i \quad (8. 4)$$

Burada:

$n_s$  = ikincil işlem sayısı

$C''_T$  = ikincil proses kalıp maliyeti ( $\$/ \text{birim}$ )

$C_0''$  = ikincil proses ekipmanı ve işçilik maliyeti (\$ / saat)

$t_{cycle}''$  = ikincil işlem çevrimi süresi (saat)

$Y_s''$  = ikincil işlem verimi (kullanılabilir dökümler / N)

Denklem 1 den 4 e, birim üretim ve tasarım maliyetini düşürmek için yapılması gereken şey konusunda çok nettir:

- İşleme maliyetini en aza indirmek için tasarım
- Malzeme maliyetini en aza indirmek için tasarım
- İşlem döngüsü süresini en aza indirmek için tasarım
- Verimi en üst düzeye çıkarmak için tasarım
- Maça ve ikincil işlem sayısını asgariye indirin

Geometri kararlarının yukarıdaki denklemdeki maliyet kaynaklarını nasıl etkilediğine bakarak, maliyeti düşüren geometri kararları almak mümkündür. Örneğin, tasarımın başında partikül düzlemini seçip, maça sayısının ve diğer özelliklerin özümlemesi gereken geometriyi yaratarak kalıp maliyeti ve üretim maliyeti düşürülür. Besleyici ve geçit kontaklarının döküm üzerinde erişilmesi kolay alanlarda bulunması, düzeltme süresini azaltacaktır. Ayrıca, besleyici ve geçit kontaklarının, parça parça hedeflerine müdahale etmeyecek şekilde konumlandırılması, düzeltme süresini, düzeltme maliyetini ve muhtemelen parça işleme süresini azaltacaktır, çünkü düzeltme işlemi daha kolay ve daha tutarlı olacaktır. Bitiriş çizgisinden geçmeyen aşırı derecede boyutların tasarlanması, baş etme ve sürükleme arasında gereken konum doğruluğu azaldığından, yapım süresini kısaltır ve verimi artırır (ASM International 2009).

#### **a. Şekil Optimizasyonu**

Metal dökümü iki benzersiz ve çok istenen tasarım avantajı sunmaktadır: (1) metal kütlesi tam olarak nerede gerekli bulunduğu ve (2) karmaşık, üç boyutlu geometrinin kolayca oluşturulduğu yerde bulunabilir. Bu avantajları uygun bir

şekilde kullanarak, parçanın hem ağırlığını hem de maliyetini en aza indiren parça geometrisi oluşturulabilir. Örneğin, malzeme gereksinimlerini de tatmin ederken malzeme gücünü tam olarak kullanan kesintisiz olarak değişen kesit geometrisinin kullanımı kolayca elde edilebilir. Buna ek olarak, birçok parça tek bir parçaya birleştirilebilir, böylece parça parça imalat maliyeti, montaj maliyeti ve tüm dolaysız maliyetler, arayüz bilgileri, kalite riski ve birikmiş parçalar ve kaynaklarla ilgili üretim karmaşıklığı ortadan kaldırılabilir.

Şekil optimizasyonu, bu avantajlardan yararlanmayı amaçlayan tasarım perspektifidir. Bu uygulama, karmaşık üç boyutlu geometrileri görselleştirmek ve karmaşık üç boyutlu şekillerin stres düzeylerini ve sapmalarını analiz etmek için mühendisin yeteneklerini önemli ölçüde arttıran güçlü mühendislik iş istasyonları ve katı modelleme yazılımının geliştirilmesi ile büyük ölçüde kolaylaştırılmıştır (ASM International 2009).

### **b. Donanım Sistemleri Tasarımı**

Donanım sistemi, sıvı metalin kalıp boşluğuna akışını kontrol eden, dökme maddesini çözündüğü haliyle besleyen ve kritik bölgelerdeki çözelti oranını kontrol eden, döküm delikleri, yolluklar, kapılar, besleyiciler ve soğutmaçlar sistemini içerir. Donanım sistemi tasarımı, sistemi oluşturan döküm delikleri, koşucular, kapıları, besleyicileri ve soğutmaçlar sayısını, boyutlarını ve yerlerini belirtir. Geleneksel yaklaşımda, uzman bir döküm mühendisi, genellikle döküm geometrisinin aydınlatılmasından sonra, donanım sistemini tasarlar. Donanım tasarımı tipik olarak, aşağıdakilerin seçimini içerir: dökme parçanın yerleşimi, ayırma çizgisi, soğutmaç tipleri ve soğutmaç için potansiyel alanlar, döküm deliği yüksekliği ve yerleşimi, besleyici tipleri ve konfigürasyonu, giriş yerleri, tıkanma alanı (akış sisteminde bulunan en küçük kesit alanı), besleyici alanlar ve konfigürasyon, dökme hızı ve sıcaklık (ASM International 2009).

### **c. Döküm İşlemi Simülasyonu**

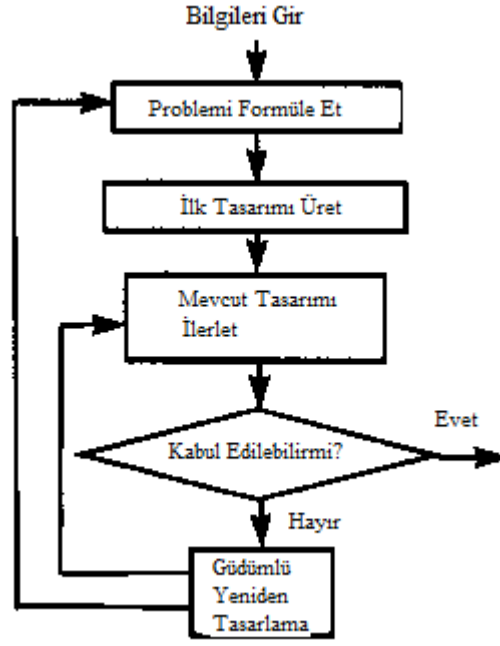
Döküm işlemi simülasyonunda, döküm delikleri, koşucular, kapılar ve besleyicilerin boyut ve şeklini belirlemek için tasarlanan üretim sürecinin kapsamlı

modellenmesi gerçekleştirilir. Bu tür bir simülasyon gerçekleştirmek için çeşitli simülasyon yazılımı mevcuttur. Buna ek olarak, prosesle ilgili kusurların boyut ve yerlerini (mikro gözeneklilik, vb.) anlamak ve tahmin etmek için metodolojiler geliştirildi. Bu metodolojileri kullanarak, teçhizat sistemi tasarımı, arıza boyutunun ve yerinin kontrol edilip / edilmeyeceğini değerlendirmek için dökümhane sistemi simülasyonunda çeşitlendirilebilir.

Tasarım sürecinin başında bilgisayar simülasyonunun kullanılması, maliyet etkinliği ve işlevsel olarak kabul edilebilir döküm geometrisinin belirlenmesinde yer alan tahmini iş miktarını önemli ölçüde azaltabilir. Bilgisayar tabanlı döküm süreci simülasyonu, iki önemli avantaj sunmaktadır: (1) tasarım tekrarlamaları ve ne-eğer analizi gerçekleştirmek daha kolaydır ve (2) simülasyon yazılımının altında yatan fizik motoru, döküm tasarımı için tutarlı ve tahmin edilebilir bir bilim tabanı sağlar. Bu, döküm geometrisinin ve donanım sisteminin koordine edilmiş bir sistem olarak belirlenmesini ve optimize edilmesini sağlar. En önemlisi, takımlar kesilip tasarımın geri dönüşsüzce donanıma geçmeden önce genel tasarımın değerlendirilmesine olanak tanır. Düzgün bir şekilde kullanıldığında, tasarım süresi ve takım yinelemelerinde önemli bir azalma sağlanır. Bununla birlikte, döküm süreci simülasyon yazılımının kullanılmasının, deneyimli alet ve döküm mühendislerinin erken girişi için uygun bir alternatif olmadığını unutmamak önemlidir. Daha ziyade, ekip yaklaşımına baskıya yardımcı olan ve destek olan çok güçlü bir araçtır (ASM International 2009).

#### **d.Döküm Tasarımı İyileştirme Stratejileri**

Döküm tasarımı yinelemeli bir işlemdir (Şekil 8.1). Tasarım problemi, tipik olarak, işlevsel gereklilikler ve kısıtlamalar açısından tatmin edilmesi gerekir.



Şekil 8.1: Tasarım sürecinin yinelemeli modeli (ASM International 2009).

İşlevsel gereklilikler, bölümün sunması gereken işlevlerle ilgilidir. Kısıtlamalar biçime (şekil, boyut, yüzey finışı, hassasiyet, vb.) ve seçilebilen geometriyi sınırlayan işleme (bölme çizgisi, taslak, kesit kalınlığı, vb.) gereksinimleridir. Problem formülasyonu temel alınarak, ilk bir tasarım oluşturulmuştur. Bu tasarım daha sonra değerlendirilir ve kabul edilebilir bir tasarım sağlanıncaya dek tekrar tekrar modifiye edilir. Genellikle, yeniden tasarım, değerlendirme aşamasında geliştirilen tasarım bilgisi, kavrama ve anlayış tarafından yönlendirilir. Kabul edilebilir olmak için, tasarım tüm işlevsel gereklilikleri ve kısıtlamaları karşılamalıdır.

Döküm tasarımına yönelik geleneksel yaklaşım incelendiğinde, Şekil 8.1 ile karakterize edilen yinelemeli işlemin, Şekil 8.2'de gösterildiği gibi esasen en az iki ve belki de birçok kez tekrarlandığı görüldü. İlk olarak tasarım mühendisi, döküm geometrisini belirlemek için tekrar eden tasarım sürecine girer. Bu geometri daha sonra, döküm sistemini belirlemek ve kalıp üreticisini kalıp boyutlarına küçültmek için tekrar eden tasarım sürecini tekrarlayan döküm mühendisine geçirilir. Döküm geometrisi değişiklikleri gerekiyorsa, donanım tasarımı sırasında keşfedilen sorunlar ek yinelemeler üretebilir. Döküm geometrisine ve donanım sistem tasarımına ilave tekrarlamalar, aynı zamanda, birinci ürünün imalatı için kalıp sistemi imalatı ve



hazırlığı sırasında da gerekebilir. Son olarak, kalıp sisteminde tekrar eden değişiklikler ve belki de döküm vedonanın sistemi geometrisi, üretim ihtiyaçlarını karşılamak için tasarımın ayarlanması için gerekli olabilir.

Aşırı tasarım yinelemeleri, döküm tasarımını olumsuz şekilde iki önemli yönde etkileyebilir. Birincisi, tasarım tekrarları tasarım maliyetini ve zamanı önemli ölçüde artırır. İkincisi, tasarım tekrarlamaları, özellikle de sürecin sonunda yapılanlar, optimal olmayan tasarıma neden olabilir. Sonuç, maliyet, ağırlık ve performans hedeflerinden daha düşük bir dökümdür. Bu tür tasarımlar kötü bir şöhret verir ve ilgili herkes için bir hayal kırıklığı olur.

Geleneksel döküm tasarım sürecini iyileştirmek için çeşitli stratejiler, yukarıda tartışılan tasarım perspektiflerine dayanarak mümkündür. Bunlar aşağıda özetlenmiştir:

1. Döküm geometrisini ve döküm sürecini, şekil optimizasyonunu ve donanım sisteminin tasarımını bir eşzamanlı işleme entegre ederek eşgüdümlü bir sistem olarak tasarlar. Geometri, malzeme ve proses etkileşimlerini göz önüne al ve sürecin bir parçası olarak baştan itibaren maliyetle ilgili sürücüler tasarlar.

2. Tasarıma başlamadan önce aşağı akış işleme kısıtlamaları da dahil olmak üzere tüm müşteri ihtiyaçlarını tam olarak anlama.

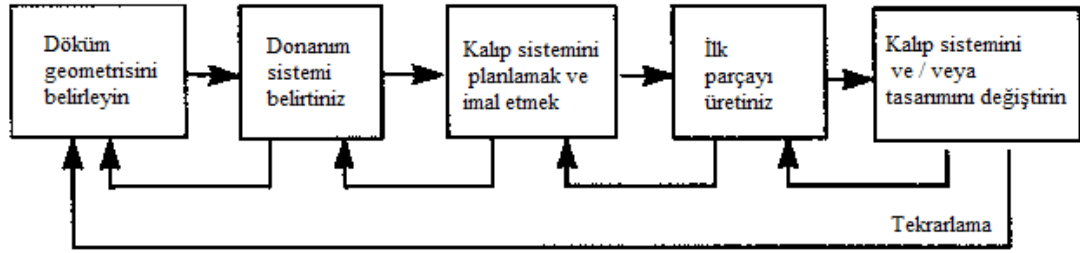
3. Kabul edilebilir bir başlangıç tasarımı yaratmaya odaklanma. Mümkün olan en iyi başlangıç tasarımını oluşturmak için zamanı öne geçirerek, çok sayıda analiz-yeniden tasarım yinelemesinden kaçınılmak. Değerlendirme aşaması, tasarımı oluşturmaktan ziyade onaylamalı.

4. Tasarım hızla optimize etmek için döküm süreci benzetimini ve diğer modern bilgisayar destekli analiz ve inceleme yöntemlerini kullanın.

5. Döküm tasarımı talimatları ve yapılandırılmış metodolojiler biçiminde döküm tasarımı için tutarlı, iyi tanımlanmış bir bilim tabanı geliştirin.

Bu stratejilerin amacı, tasarım döngüsünü kısaltmak ve mümkün olan en iyi döküm tasarımının yaratılmasına yardımcı olmaktır. Takip eden bölümlerde, bu

stratejileri uygulamak için bazı olası yaklaşımlar önermekteyiz (ASM International 2009).



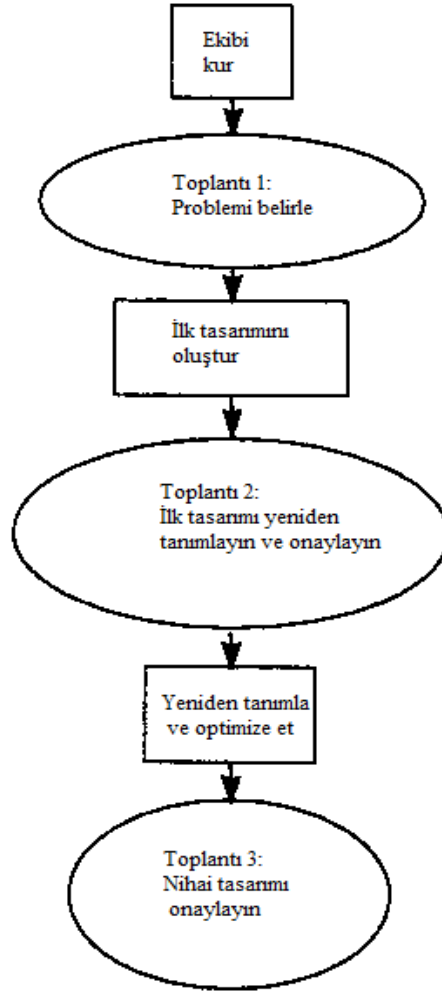
Şekil 8.2: Geleneksel döküm tasarım yöntemi (ASM International 2009).

### a. Yapısal Ekip Yaklaşımı

Stratejiler 1 den 3 e ve bir dereceye kadar strateji 4, yapılandırılmış ekip yaklaşımı benimseyerek çok kolay ve hızlı bir şekilde uygulanabilir. Yapısal bir ekip yaklaşımıyla, döküm tasarımının çok disiplinli bir ekip ve yapılandırılmış bir tasarım metodolojisi kullanılarak gerçekleştirildiğini kastediyoruz. Ekip yaklaşımının amacı, anahtar erken tasarım kararları alındığında gerekli tüm ürün ve süreç bilgisini edinmektir. Yapısal bir tasarım metodolojisinde, genel tasarım problemi, genelden spesifikçe doğru ilerleyen, ardışık, gerçekleştirilmesi daha kolay olan bir dizi adıma bölünür. Her adımı kapsamlı ve disiplinli bir şekilde uygulayarak aşırı yinleme ve uzun tasarım süreleri önlenir. Genel olarak, süreçteki her adım, yapılandırılmış metodolojilerin hiyerarşisini oluşturmak için basamaklara daha da bölünebilir.

Yapısal ekip yaklaşımını göstermek için, Şekil 8.3'te şematik olarak gösterilen basit metodolojiyi önermekteyiz. Bu yaklaşım, ekibin tüm üyelerinin dökümünü sürekli olarak tasarlamak için mevcut olmadığını kabul etmektedir. Bu nedenle takım toplantıları, tasarımın tüm belirgin yönlerinin gözden geçirilmesi ve tartışılması planlanmaktadır. Bu toplantılara ekibin tüm üyeleri katılmalıdır. Toplantıların amacı, tasarım yönünü belirlemek, tüm ekip üyelerinden girdi ve fikir birliğine ihtiyaç duyan kilit tasarım kararlarını vermek, tüm süreç kısıtlamaları ve gereksinimlerinin doğru bir şekilde değerlendirildiğinden emin olmak ve çelişkileri ve önerilen tasarımın önündeki engelleri gidermektir. Her toplantının sonucu bireysel takım üyeleri tarafından uygulanacak bir dizi eylem adımlarıdır. Böylece tüm ekip üyeleri bilgilendirilmekte ve tasarım karar verme sürecine katılmaktadırlar. Aynı

zamanda, tasarımın yaratılmasıyla ilgili detaylı çalışma, gereken beceri ve bilgiye göre belirli ekip üyelerine devredilir. Aşağıda, metodolojinin her adımını tartışıyoruz ve bu metodolojiyi kullanarak bir dökümün nasıl tasarlanacağını hayal ediyoruz (ASM International 2009).



Şekil 8.3: Basit yapılandırılmış ekip yaklaşımı (ASM International 2009).

**1. Adım: Ekibi Kurmak.** Metodolojideki ilk önemli adım budur. Düzen, bir şekilde resmileştirilmedikçe, özellikle döküm geometrisinin tanımlanmasından önce tasarım ve döküm mühendisi arasında döküm tasarım sürecinin etkili bir şekilde işbirliği kazanması oldukça zordur. Bir takıma resmen atanarak, her bir ekip üyesi en

baştan tasarım için kişisel sorumluluk alır. Bu, iyi döküm tasarımı için gerekli olan işbirlikçi tutumu destekler ve kolaylaştırır.

Döküme ilgi duyan tüm paydaşlar takımda temsil edilmelidir. Tipik bir ekip, bir tasarım mühendisi, bir döküm mühendisi, bir kalıplama tasarım mühendisi ve döküm süreci simülasyon yazılımını, son eleman analizini, kırılma mekaniğini, tahribatsız değerlendirme (NDE) tekniklerini bilen bir veya daha fazla uzman dan oluşur. Buna ek olarak, son müşterinin, dökümü yapacak dökümhanenin ve havale edilme sırasında ikincil işleme ile ilgilenen diğer kişilerin ekipte uygun şekilde temsil edilmeleri önemlidir. Bu, tüm müşteri ve işlem ihtiyaçlarının uygun bir şekilde değerlendirilmesine yardımcı olmakla kalmaz aynı zamanda tasarım spesifikasyonundaki değişiklikleri hızla pazarlık yapmayı ve gerektiğinde tasarım kararlarının maliyet sonuçlarını hızlı bir şekilde değerlendirmeyi mümkün kılar (ASM International 2009).

**Toplantı 1:Tasarım Problemini Belirle.** Sorunun açıklığa kavuşturulması, maliyetin, performansın ve üretim hedeflerinin ve tasarımın kısıtlamaları hakkında genel bir anlayış geliştirmekten oluşur. Bu toplantı için tipik bir gündem aşağıdakileri içerebilir:

1. Ürünün arka planını gözden geçirin.
2. Müşteri gereksinimleri ve tasarım hedefleri.
3. Beklenen yıllık üretim hacimleri ve hedef maliyetler.
4. Geometri kavramları ve alternatifleri.
5. Malzeme ve işleme seçenekleri.
6. Dökümhane ve ikincil işleme yerleri.
7. Potansiyel geometri / malzeme / yöntem etkileşimleri.
8. Ön hazırlık tasarımı geliştirin.
9. Başlangıç tasarımını oluşturmak için ekip üyelerine görev atayın.

Yukarıda belirtildiği gibi, tüm ekip üyelerinin her takım toplantısında hazır bulunmaları şarttır. Örneğin, analist, döküm geometrisi tam olarak tanımlanmadan tasarımla aktif şekilde ilgilenmese de, önerilen geometriye yol açan erken tasarım kararlarına katılması son derece önemlidir. Bu şekilde, analist tasarım probleminin tüm ihtiyaçlarını bilir ve sonunda analiz edilip optimize edilecek belirli geometri arkasındaki mantıkla aşına olur (ASM International 2009).

**Adım 2: İlk Tasarım Oluşturun.** İlk tasarım, döküm geometrisinin detay düzenini belirler. Kalıp boşluğunu doldurmak ve katılaştıran dökümü beslemek için gerekli donanım tasarımı ile birlikte parçanın konfigürasyonunu ve parametrik tasarımını içerir. Yapılandırma tasarımı, duvarlar, delikler, kaburgalar vb. gibi özelliklerin ve bu özelliklerin arzulanan şekli, işlevi, imalatı ve üretilebilirliğini sağlamak için nasıl bağlanacağını (örn., Ayırma çizgisi, maçalıma ve taslak düşük kalıplama maliyetli , kısa çevrim süresi ve minimum kırpm ve ikincil işleme için). Parametrik tasarım, dayanıklılık, sertlik ve / veya doğal frekans hedeflerini karşılamak için gereken boyutların, toleransların ve kesin malzeme spesifikasyonlarının belirlenmesini içerir. Daha önce tartışıldığı gibi, donanım tasarımı, döküm deliklerinin, yollukların, kapıların ve besleyicilerin yerini ve boyutunu içerir.

Genel bir yaklaşım olarak, Toplantı 1'de ekip tarafından bir bütün olarak bir ön düzenleme ve donanım tasarımı önerilebilir. Bunu bir başlangıç noktası olarak kullanarak tasarım mühendisleri ve döküm mühendisleri, çeşitli takım üyelerinden girdi ve fikir birliğine ihtiyaç duyacakları konfigürasyon tasarımının ayrıntılarını geliştirmek için birlikte çalışacaklar. İlk döküm ve donanım konfigürasyonu tamamlandıktan sonra, bir ön parametrik tasarım yapılacaktır. Bu görevin amacı, basit malzeme mukavemet yöntemleri veya gerekirse kaba bir son eleman analizi kullanarak bölüm boyutlarını, ikincil işleme gereksinimlerini ve malzeme özellik gereksinimlerini hızlı bir şekilde belirlemektir. Yaklaşık parametrik tasarım tamamlandıktan sonra, genel tasarım maliyeti en aza indirmek için değerlendirilir ve modifiye edilir. Döküm geometrisi, ikincil işleme ve donanım sistemi, tüm ekip üyelerinin girdileri ile birlikte koordine edilmiş bir sistem olarak tasarlanmış ve geliştirilmiştir, çünkü minimum analiz ve yineleme ile gerçekleştirmek kolay ve

basittir. Dolayısıyla, kaliteli tasarım kararları almak için gereken tüm bilgiler kolayca elde edilebilir (ASM International 2009).

**Toplantı 2: İlk Tasarımı Yeniden Tanımlayın ve Onaylayın.** Bu toplantının amacı, ilk tasarıma bir takım olarak tepki vermek ve ekibin genel ortak görüşü tarafından gerekli gördüğü düzeltmeleri veya modifikasyonları yapmaktır. Tüm tasarım ve işleme konularının tartışılması ve çözülmesi gereken zaman budur. Önerilen tasarımın önündeki önemli engeller varsa, bunlar Adım 3'e geçmeden önce çözülmelidir. Bu toplantı için tipik bir gündem aşağıdakileri içerebilir:

1. İlk tasarımı gözden geçirin.
2. Engelleri, olası istenmeyen etkileşimleri ve performans ve işleme endişelerini belirleyin.
3. Toplam maliyet açısından en iyi döküm geometrisinin tanımlanmasını sağlamak için tasarımla ilgili tüm masrafları tartışın.
4. Çeşitli engeller için çözümler üretmek ve toplantıda takip etmek üzere ekip üyelerine görev vermek veya
5. Önerilen ilk tasarıma onay verin ve ekip üyelerine tasarımı telafi etmek ve optimize etmek için görevlendirin (ASM International 2009).

**3. Adım: Tasarım'ı Yeniden Tanımlayın ve Optimize Edin.** Takım, ilk döküm geometrisinin ve teçhizat tasarımının mümkün olan en iyi çözüm olduğuna karar verdikten sonra, döküm geometrisinin ve donanım sisteminin ayrıntılarını bilgisayar analizi ile optimize etmek için gereken çaba kabul edilebilir. Bu adımın amacı, bu nedenle bilgisayar modelleme tasarım ve her yönüyle uygun şekilde optimize edilene kadar tekrar tekrar geliştirmektir. Bu adımda harcanan çabanın miktarı, yerleştirmeyi optimize etmenin ne kadar önemli olduğuna bağlı olacaktır. Örneğin, eğer ağırlık ve / veya malzeme maliyeti kritikse, kullanılan malzeme miktarını en aza indirmek için yoğun çaba gösterilebilir. Benzer şekilde, güvenlik önemli bir konuya, kabul edilebilir yorulma ömrünü ve sürtünmeleri güvenilir bir şekilde tespit etmek için kapsamlı analiz uygun olabilir. Bu adımın anahtarı, optimuma yakın bir döküm geometrisiyle başlamaktır. Bu, analiz çabası ve optimum

tasarıma yakınsamak için gereken yineleme sayısını en aza indirecektir (ASM International 2009).

**Toplantı 3: Nihai Tasarımı Onaylayın.** Adım 3'ün sonucu, detaylı döküm geometrisi, ayırım düzlemi, taslak, maça, besleyici yerleri ve boyutları ve tesisat sistemi tasarımı da dahil olmak üzere tamamen belirlenmiş döküm tasarımı olacaktır. Buna ek olarak, talaşlı imalat, ısıl işleme tabi tutma gibi son parça tasarımı tam olarak belirtilecektir. Toplantı 3'ün amacı, tamamlanan tasarımı bir takım olarak resmen gözden geçirmek ve imalat için serbest bırakılması için tasarıma onay vermektir. Yapısal ekip yaklaşımı doğru bir şekilde uygulandığında, son tasarım hemen hemen her zaman onaylanacaktır. Bununla birlikte, ekip tasarımın serbest bırakılmaya hazır olmadığına karar verirse, tasarım yeterliklerinin düzeltilmesi için uygun eylem planları geliştirilmeli ve uygulanmalıdır. Bundan sonra, tasarım yayınlanmadan önce bir veya daha fazla takip toplantısı gerekebilir.

Parçaları hazır olana kadar serbest bırakmayan, bazen acı verici olmasına rağmen, en az sayıda kalıp değiştirme ve düzeltme işlemine yardımcı olur ve uzun vadede en uygun maliyet politikasıdır. Döküm tasarımı bu politikaya kesinlikle uyarak, modifikasyon yapılmaksızın ilk parçaya ve üretime kadar hızlı ve sorunsuz bir şekilde ilerlemelidir. Durum böyle olduğunda, ekip görevini iyi yaptığını bilir (ASM International 2009).

## 9. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez kapsamında ele alınan dökümcülük, ergitilmiş olan sıvı metalin üretilecek olan parçanın şeklinde boşluk içeren kalıplara yerçekimi veya basınç vasıtasıyla dökülerek katılaştırıldığı bir imalat çeşididir. Ergimiş metalin içine doldurulduğu kalıp olarak, her döküm sonrası bozulan kum kalıplar olduğu gibi, birçok parçanın üretimini sağlayan metal kalıplarda kullanılabilir. Döküm yöntemiyle doğrudan parça üretildiği gibi kütük şeklinde ingotlar da yapılabilir. İngotlar, alaşımlandırılması tamamlanmış ergiyik halindeki malzemenin büyük kalıplara dökülmesiyle elde edilen, haddeleme ve dövme ile şekil verilmeye hazır parçalardır.

Tasarımcılar imal edilecek parçanın öngörülen işlevini yerine getirmesi yanı sıra imalatının da ekonomik olarak gerçekleştirilmesini dikkat etmek zorundadır.

Döküm işlemi ile yapılacak bir parçada parçanın üretileceği malzemenin döküme uygun olarak seçilmesi çok önemli bir noktadır.

Ergitme yapmak için kullanılacak döküm ocakları, kullanılacak kalıplama türü, katılma sırasında çıkabilecek sorunlar gibi birçok önemli husus kullanılacak malzemeye bağlıdır. Bu nedenden dolayı benzer özelliklere sahip metaller arasında döküme en uygun olanının karar verilmesi için tasarımcı ve dökümcünün birlikte çalışıp karar vermesi lazımdır.

Döküm parçalarının başarılı bir şekilde imal edilmesi için tasarımcı ve dökümcünün becerikli olması gerekir. Tasarımcının görevi, parçaya kullanım esnasında gelecek zorlamaları ve bundan dolayı gerekli emniyet katsayısını belirlemek, dökümcünün görevi ise gelecek olan zorlamayı taşıyacak olan parçayı eksiksiz olarak üretmektir.



## KAYNAKLAR

- Afs, Modern Casting [online], (30December2017),  
<http://www.afsinc.org/multimedia/modernCasting.cfm>, (2015).
- Akdoğan Eker, A., *Bakır Alaşımaları Ders Notları*, İstanbul,(2008).
- Akdoğan Eker, A., *Magnezyum ve Alaşımalarını Şekillendirme Yöntemleri Ders Notları*, İstanbul, (2008).
- American Foundrymen's Society publication, *Analysis of Casting Defects*, USA: American Foundry Society, (2014).
- Aran, A., *Döküm Teknolojisi İmal Usulleri Ders Notları*, İ.T.Ü., İstanbul: Gümüşsuyu Matbaası, (2007).
- ASM International, *Casting Design and Performance*, Usa: ASM International Materials Park, (2009).
- Ataçelik Döküm, Döküm Sektörü Hakkında Bilgiler ve Türkiye Döküm Tarihi[online], (30December2017), <http://www.atacelik.com/dokumtarihi.html>, (2016).
- Ataçelik Döküm, Döküm Teknikleri [online], (30December2017),  
<http://www.atacelik.com/cukurdokum.html>, (2016).
- Callister, W.D., Rothwisch, D.G., *Malzeme Bilimi ve Mühendisliği*, Ankara: Nobel Akademik Yayıncılık, (2017).
- Campbell,J., *The New Metallurgy of Cast Metals Castings*, UK: University of Birmingham, (2003).
- Campbell, J., *Casting*, UK: Butterworth Heinemann, Oxford, 288p, (2002).
- Docplayer, Döküm Teknolojisi. Dökümün Tanımı, Üstünlükleri ve Dezavantajları[online], (30December2017), <http://docplayer.biz.tr/3636582-Dokum-teknolojisi-dokumun-tanimi-ustunlukleri-ve-dezavantajlari.html>, (2008).
- Erü, Döküm Teknolojisi[online],  
(30December2017),[aves.erciyes.edu.tr/ImageOfByte.aspx?Resim=8&SSNO=13&USER=7395](http://aves.erciyes.edu.tr/ImageOfByte.aspx?Resim=8&SSNO=13&USER=7395), (2016).
- Harran Üniversitesi, Döküm Hataları[online], (30December2017),  
[eng.harran.edu.tr/moodle/moodldata/99/dokum\\_hatalari.pdf](http://eng.harran.edu.tr/moodle/moodldata/99/dokum_hatalari.pdf) , (2016).

Gülmez, T., İmal Usulleri Döküm Ders Notları[online], (30December2017), [web.itu.edu.tr/gulmezt/IMAL%20USULLERI.html](http://web.itu.edu.tr/gulmezt/IMAL%20USULLERI.html), (2010).

Güven, E. A., Döküm[online], (30December2017), [http://foimyo.kocaeli.edu.tr/dosyalar/imalat\\_yontemleri/Dokum.pdf](http://foimyo.kocaeli.edu.tr/dosyalar/imalat_yontemleri/Dokum.pdf), (2014).

Haddemetal, Alaşım Elementlerinin Çeliğin Yapısına Etkisi[online], (30December2017), <http://www.haddemetal.com/tr/Download/Alasim%20Elementlerinin%20Celigin%200Yapisina%20Etkisi.pdf>, (2015).

Kaçar, İ., Öztürk, F., *Mg Alaşımları ve Kullanım Alanlarının İncelenmesi*, Niğde: Niğde Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt 1, Sayı 1, 12-20, (2012).

Makinacı's Blok, Alüminyum Döküm Yöntemleri[online], (30December2017), <https://nasiluretilir.wordpress.com/>, (2010).

Meb, *Metalürji Teknolojisi Döküm Hataları* 521 mmı 267, Ankara: Meb, (2011).

Teknik Bilgi Haznesi, Döküm Parçası Tasarlama[online], (30December2017), <http://teknikbil.blogspot.com.tr/2013/11/>, (2013).

Tüdoksad, Dökümün Tarihçesi[online], (30December2017), <http://www.tudoksad.org.tr/>, (2013)

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Mustafa AKAR  
Doğum Yeri ve Tarihi : Denizli 1960  
Lisans Üniversite : Orta Doğu Teknik Üniversitesi  
Elektronik posta :20mustafaakar@mynet.com  
İletişim Adresi : Gazi bulvarı Altıntop mah. No:110 Kat:3 D:6

Denizli