

**T.C.
MANİSA CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**



**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
KONSTRÜKSİYON VE İMALAT PROGRAMI**

**PİRİNÇ MALZEMEDE DÖKÜM PROSESİNİ ETKİLEYEN
TASARIM PARAMETRELERİNİN MAGMASOFT
YAZILIMINDA İNCELENMESİ VE BİR ÖRNEK ÇÖZÜMÜN
İŞLENMESİ**

Mücahit TÜRKAN

**Danışman
Doç. Dr. Can ÇİVİ**

MANİSA-2024

TAAHHÜTNAME

Bu tezin Manisa Celal Bayar Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Konstrüksiyon ve İmalat Ana Bilim Dalında akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını, tamamen kendi çalışmam olduğunu, her alıntıya kaynak gösterdiğimi, tezin yazımında akademik ve etik kurallara aykırı herhangi bir yapay zekâ ve program kullanmadığımı beyan ederim.

Mücahit TÜRKAN



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

Pirinç Malzemede Döküm Prosesini Etkileyen Tasarım Parametrelerinin Magmasoft Yazılımında İncelenmesi ve Bir Örnek Çözümün İşlenmesi

Mücahit TÜRKAN

Manisa Celal Bayar Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Can ÇİVİ

Sıhhi tesisat sektöründe sıcak ve soğuk suyu istenilen sıcaklıkta ve debide karşılayan, günümüzde kullanıcılara daha konforlu yaşam sunan ve temel ihtiyaçlarının sağlanmasında yardımcı olan ürünlere su armatürü denir. Armatürler genellikle pirinç malzeme olarak bilinen bakır-çinko alaşımlı hammaddeden imal edilmektedirler. Armatür üretim metodu olarak, alçak basınçlı döküm yöntemi ve sıcak dövme yöntemi sıklıkla kullanılan iki farklı metottur. Alçak basınçlı döküm yöntemi ile üretilen armatür gövdelerinde kimi zaman doldurmazlık, çekme, gözenek-gaz boşluğu (porozite), süngerimsi yapı, çatlak ve maça kaçıklığı gibi hatalar meydana gelebilmektedir. Bu tarz hataların meydana gelme nedenlerine bakıldığında tasarımın belirli yerlerindeki detayların iyileştirilmesi, ergiyik malzemenin kalıp içerisindeki akışının rahatlatılması, besleyicinin doğru konumlandırılması, gövde tasarımının dökülebilirliğe uygun tasarlanması gibi birçok parametre ile döküm prosesini etkileyebileceği görülmektedir. Bu bağlamda doğabilecek muhtemel hataların dökümden önce öngörülmesi, iyileştirilmesi ve yüksek verimle (daha az hurda) dökülmesine imkân veren birçok ticari simülasyon programı farklı sektörlerin ihtiyaçlarını karşılamaktadır.

Bu tez çalışmasında, alçak basınçlı döküm yöntemi ile bir su armatürünün döküm simülasyonu çalışılmıştır. Alçak basınçlı döküm prosesine uygun olacak şekilde 5 farklı tasarım Siemens NX12 CAD programında modellenmiştir. Farklı model tasarımları arasından MAGMASOFT programında porozite analiz sonuçlarına göre optimum tasarım belirlenmiştir. Belirlenen optimum tasarımın ön seri üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretimi yapılan iş parçası boyutsal kontrol, 3 boyutlu tarama ile kontrol, radyografik muayene, sızdırmazlık testi ve mikroskop altındaki görüntüleri incelenmiştir. Yapılan ölçüsel kontrolde ve 3 boyutlu taramada, ölçülerin tolerans değerleri arasında kaldığı gözlemlenmiştir. Döküm analiz çıktıları ve radyografik muayene görüntüleri karşılaştırılmıştır. Dikkati çeken bölgelerde mikroskop altında incelemeler yapılmış ve benzer bölgelerde çekinti boşlukları tespit edilmiştir. İş parçasının sızdırmazlık testlerinde herhangi bir kaçak gözlemlenmemiştir.

Anahtar Kelimeler: Armatür, Pirinç, Alçak Basınçlı Döküm, MagmaSoft, Porozite

2024, 128 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

Design Parameters Affecting The Casting Process In Brass Material, Processing Of An Example Solution

Mücahit TÜRKAN

**Manisa Celal Bayar University
Graduate School of Education
Department of Mechanical Engineering**

Supervisor: Assoc. Prof. Can ÇİVİ

In the plumbing sector, products that deliver hot and cold water at the desired temperature by flowing through them, providing us with the opportunity to live to high standards today and helping us to meet our basic needs are called faucet. Faucets are generally produced from brass alloy raw materials on sectoral basis. As a production method in faucet, they are produced by two different methods using low pressure casting method and hot forging method. In faucets produced by low pressure casting method, defects such as non-filling, shrinkage, pore-gas gap (porosity), spongy structure, cracks and core axial dislocation may sometimes occur. When examining the reasons for the occurrence of such defects, it is observed that many parameters such as improving certain parts of the design, facilitating the flow of molten material in the mold, correct positioning of the feeder, designing the body design in accordance with castability can affect the casting process. In this context, many commercial simulation programs that enable the prediction and improvement of possible defects before casting and casting with high efficiency (less scrap) meet the needs of different sectors.

In this thesis, the casting simulation of a water armature by low pressure casting method was studied. Five different designs suitable for the low pressure casting process were modelled in Siemens NX12 CAD software. Among the different model designs, the optimum design was determined according to the porosity analysis results in MAGMASOFT software. Pre-series production of the determined optimum design was carried out. The produced workpiece was examined by dimensional control, 3D scanning, radiographic examination, sealing test and microscope images. In the dimensional control and 3D scanning, it was observed that the dimensions remained within the tolerance values. Casting analysis outputs and radiographic examination images were compared. Microscopic examinations were carried out in the areas that attracted attention and shrinkage gaps were detected in similar areas. No leakage was observed in the sealing tests of the workpiece.

Keywords: Basin Mixer, Brass, Low Pressure Die Casting, Magmasoft, Porosity

2024, 128 pages

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasında, bir su armatürünün alçak basınçlı döküm prosesinde karşılaşılan kusurların incelenmesi amaçlanmıştır. Birinci bölümünde, su ve geçmiş toplulukların suya olan bakışı, pirinç hammadenin kullanım alanları, sıhhi tesisatta kullanılan parçaların üretim metotları ve yapılan çalışmanın kısa bir özeti verilmiştir. İkinci bölümde, döküm tarihi, döküm yöntemleri, dökümde kullanılan ekipmanlar ve literatürdeki benzer çalışmalar verilmiştir. Üçüncü bölümde, çalışmada kullanılan malzemelerin özellikleri, ilgili testlerde kullanılan cihazlar ve Siemens NX 12 programı aracılığıyla yapılan tasarımlar ve Magmasoft 6.0 simülasyon programı ile yapılan analizler hakkında bilgiler verilmiştir. Dördüncü bölümde ise analiz sonuçlarına istinaden uygun görülen parçanın ön seri dökümü gerçekleştirilmiş ve radyografik muayene görüntüleri ile fiili parça ve analiz görüntüleri kıyaslanmaya çalışılmıştır.

Çalışmanın her aşamasında desteğini esirgemeyen, lisansüstü öğrenim hayatım boyunca bilgi ve tecrübeleri ile beni aydınlatıp yol gösteren, kendisini tanıtmaktan onur duyduğum danışman hocam **Sn. Doç. Dr. Can ÇİVİ**'ye,

Yüksek lisans eğitimim süresince desteklerini her vakitte hissettiğim değerli çalışma arkadaşlarıma ve projemin tüm aşamalarında araştırmamda ve çalışmamda gerekli olan tüm alet, teçhizat, yazılım gibi imkanları veren Türkiye'nin değerli kuruluşlarından olan **E.C.A. Valfsel Armatür Sanayi A.Ş.**'e,

Analiz çözümlerinde ve eğitimlerinde desteğini esirgemeyen Magma Bilişim ve Teknoloji Hizmetleri Ltd. Şti. ve **Genel Müdürü Sn. Murat AKÇİN** Bey'e,

Radyografik muayene çalışmalarının yapılmasında destek olan Carl Zeiss Teknoloji Çözümleri Tic. Ltd. Şti. ve **Kıdemli Uygulama Uzmanı Sn. Mesut GÖDEK** Bey'e,

Hayatım boyunca desteklerini hep yanımda hissettiğim sevgili **ANNEM, BABAM** ve **KARDEŞİME**'e,

Tez sürecinde benimle birlikte hertürlü fedakârlığa katlanan, sevgili **EŞİM**'e ve en büyük motivasyon kaynağım olan canım **KIZIM**'a yürekten teşekkür ederim.

Mücahit TÜRKAN
Manisa, 2024

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

2D	2 Dimensional (2 Boyutlu)
3B	3 Boyutlu
3D	3 Dimensional (3 Boyutlu)
Al	Aluminyum
B	Bor
Be	Berilyum
CAD	Computer Aided Desing (Bilgisayar Destekli Tasarım)
CAE	Computer Aided Mühendislik (Bilgisayar Destekli Mühendislik)
CFD	Computational Fluid Dynamics (Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği)
CNC	Computer Numerical Control (Bilgisayarlı Sayısal Kontrol)
Co	Kobalt
Cu	Bakır
FDM	Finite Difference Method (Sonlu Elemenlar Metodu)
Fe	Demir
HPDC	High Pressure Die Casting (Yüksek Basıncılı Döküm)
HTC	Heat Transfer Coefficient (Isı İletim Katsayısı)
Kg/h	Kilogram/saat
Kw	Kilowatt
LPDC	Low Pressure Die Casting (Alçak Basıncılı Döküm)
Pa	Pascal
Pb	Kurşun
Zn	Çinko

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1 Ottmar Mergenthaller tarafından 1890 yılında geliştirilen, dizgi makinesi (Gözen, 2007).....	6
Şekil 2.2 Döküme hazır bir kapalı kum kalıbının kesiti (Aran, 2007).....	7
Şekil 2.3 Döküm parçalara örnek görseller (Gültekin, 2011).....	9
Şekil 2.4 Alçak basınçlı döküm kalıp elemanları (Aydın, 2022).....	11
Şekil 2.5 Alçak basınçlı döküm tezgahının prosesdeki döngüsü.....	12
Şekil 2.6 HPDC ile parça üretim aşamalarının şematik gösterimi (Işık, 2021).....	13
Şekil 2.7 1. Fazda piston ve hazne içindeki sıvı metalin hareketinin şematik gösterimi (Işık, 2021).....	14
Şekil 2.8 2. faz ile kalıp dolumunun şematik gösterimi (Işık, 2021).....	15
Şekil 2.9 Soğuk kamaralı basınçlı döküm işleminin şematik gösterimi (Gültekin, 2011)	18
Şekil 2.10 Sıcak kamaralı basınçlı döküm işleminin şematik gösterimi (Gültekin, 2011)	19
Şekil 2.11 Soğuk kamara basınçlı döküm kalıbı (Niebel, 1989)	20
Şekil 2.12 Çekirdeklere işlenen göz tipleri (Niebel, 1989).....	21
Şekil 2.13 Sabit kalıp hamili örneği (Niebel, 1989)	21
Şekil 2.14 Kılavuz kolları ve yatakları (Niebel, 1989)	22
Şekil 2.15 İtici plakası (taralı kısımlar) (Niebel, 1989)	22
Şekil 2.16 Paraleller (Niebel, 1989).....	23
Şekil 2.17 İtici sistemi (Niebel, 1989)	23
Şekil 2.18 İtici pimleri (Uludağ, 2007).....	24
Şekil 2.19 Dişi ve maça yerleşimlerin şematik gösterimi (Uludağ, 2007)	24
Şekil 2.20 Dağıtıcı şekilleri (Uludağ, 2007)	25
Şekil 2.21 Giriş kanallarının kalıp üzerindeki konumları (Uludağ, 2007)	25
Şekil 2.22 Taşma ve tahliye kanalına örnek yerleşimi (Uludağ, 2007).....	26
Şekil 2.23 Taşma ve tahliye kanalına örnek parça yerleşimi (Uludağ, 2007)	26
Şekil 2.24 Soğutma kanallarına örnek kalıp kesiti (Uludağ, 2007)	27
Şekil 2.25 Al-Si faz diyagramı (Uludağ, 2007)	29
Şekil 2.26 Cu-Zn faz diyagramı (Kejzlar ve ark., 2017)	30
Şekil 2.27 Tipik bir eksik döküm hatası; bir diş tamamen eksik (Tüdöksan, 2014)..	32
Şekil 2.28 Yeterince beslenemeyen kalın bir kesitte oluşan tipik bir çekinti boşluğu hatası (Tüdöksan, 2014).....	33
Şekil 2.29 Uygun olmayan besleyici tasarımı ile çekinti boşluğu hatası (Tüdöksan, 2014)	34
Şekil 2.30 Çelik dökümde yetersiz maça dağılıbilirliğinin neden olduğu sıcak yırtılma (Tüdöksan, 2014).....	35
Şekil 2.31 Üst yüzeyde oluşmuş gaz boşluğu hata örneği (Tüdöksan, 2014).....	35
Şekil 2.32 Kalıp cebinin bir kısmının düşmesi (Tüdöksan, 2014).....	36
Şekil 2.33 Tipik kalıp şişmesi (Tüdöksan, 2014)	37
Şekil 2.34 80-90 Sertliğe sıkıştırılarak yaş kum kullanılan bir kalıptan tipik bir sert kalıp kum emmesi (Tüdöksan, 2014).....	38
Şekil 2.35 Alt ve üst kalıbın doğru merkezlenememesi sonucunda oluşan kaçıklık (Tüdöksan, 2014)	38
Şekil 2.36 Tipik bir genleşme hatası (Tüdöksan, 2014)	39
Şekil 2.37 Atmosfer, kum ve sıcaklığın kum kaynamasındaki etkisi (Tüdöksan, 2014)	40
Şekil 2.38 Çapaklanma yapan döküm parçası (Tüdöksan, 2014).....	40

Şekil 2.39 Tek girişli yolluk (Megep, 2014).....	42
Şekil 2.40 Çift girişli yolluk (Megep, 2014).....	42
Şekil 2.41 Salkım yolluk (Megep, 2014).....	42
Şekil 2.42 Tek memeli yolluk (Megep, 2014).....	43
Şekil 2.43 Kenar yolluk (Megep, 2014).....	43
Şekil 2.44 Çok memeli yolluk (Megep, 2014).....	44
Şekil 2.45 Teğet yolluk (Megep, 2014).....	44
Şekil 2.46 Çelik dökümlerde doğal besleyicilerin ve besleyici gömlek kullanılmış besleyicilerin karakteristik görüntüleri (Candeğer, 2001)	47
Şekil 2.47 Besleyici boynu geometrik şekilleri ve modül hesabı	50
Şekil 2.48 Besleyici boyun modülü hesaplama grafiği (Candeğer, 2001).....	50
Şekil 3.1 Farklı kullanım alanlarına ait su armatürler	59
Şekil 3.2 CuZn39Pb1Al-B külçe hammadde görseli	60
Şekil 3.3 CK45 kum maça kalıbı	64
Şekil 3.4 CuCoNiBe kokil kalıbı görseli	65
Şekil 3.5 İş akışı şematik gösterimi	67
Şekil 3.6 Banyo bataryasının görüntüsü (a- yandan kesit görünümü, b- üstten kesit görünümü)	68
Şekil 3.7 Geometri tanımlama	69
Şekil 3.8 Meshleme işlemi sonrası gövde görseli.....	70
Şekil 3.9 Mesh quality arayüzü görseli.....	70
Şekil 3.10 Malzeme atama penceresi.....	71
Şekil 3.11 HTC değerleri sekmesi	71
Şekil 3.12 Cycle definition sekmesi.....	72
Şekil 3.13 Preperation penceresi.....	72
Şekil 3.14 Analiz için tanımlanan zaman-basınç grafiği	73
Şekil 3.15 KWC döküm tezgâhı	78
Şekil 3.16 Bianchi Kum Maça Tezgâhı	80
Şekil 3.17 Hava kaçağı test cihazı	82
Şekil 3.18 Bosello Max 2D X-ray tarama cihazı (Zeiss Carl Türkiye, 2024)	83
Şekil 3.19 Handyscan 3D Black Series tarama cihazı (Creaform, 2024)	84
Şekil 3.20 Nikon SMZ 745T Stereo Mikroskop (Karfo Endüstriyel, 2024)	85
Şekil 4.1 Çalışma için kullanılacak versiyonların görselleri	86
Şekil 4.2 Çıkıcı görselleri	86
Şekil 4.3 Yolluk sistemleri.....	87
Şekil 4.4 Solda V1, V2 ve V3 için sağda V4 ve V5 kullanılacak maça tasarımları ..	88
Şekil 4.5 Kartuş bölgesindeki besleyiciler (kırmızı renkli)	88
Şekil 4.6 Farklı tasarım geometrilerine bağlı dolum esnasındaki sıcaklık analizleri	89
Şekil 4.7 Farklı tasarım geometrilerine bağlı hot spot fs time analiz görüntüleri.....	90
Şekil 4.8 Farklı tasarım geometrilerine bağlı porozite analiz görüntüleri	91
Şekil 4.9 Farklı tasarım geometrilerine bağlı hava sıkışması analiz görüntüleri.....	92
Şekil 4.10 Paralel koordinat grafiği-1	93
Şekil 4.11 Paralel koordinat grafiği-2.....	94
Şekil 4.12 Döküm gövdesi taslak teknik resmi.....	95
Şekil 4.13 Tarama işleminden bir görüntü.....	97
Şekil 4.14 Tarama işlemi ölçüm değerleri	98
Şekil 4.15 Döküm gövdesinin çıkış ucu ve yön değiştirici detaylarının görüntüsü ..	99
Şekil 4.16 Döküm gövdesinin çıkış ucu ve yön değiştirici detaylarının alttan görüntüsü.....	100
Şekil 4.17 Döküm gövdesinin su giriş detayı görüntüsü-1	101

Şekil 4.18 Döküm gövdesi su giriş detayı görüntüsü-2	102
Şekil 4.19 Yön değiştirici bölgesi sağ kesitten alınan stereo mikroskop görüntüsü	103
Şekil 4.20 Yön değiştirici bölgesi sol kesitten alınan stereo mikroskop görüntüsü	104
Şekil 4.21 Salkım halindeki döküm gövdenin üstten görüntüsü	105
Şekil 4.22 Salkım halindeki döküm gövdenin alttan görüntüsü	106
Şekil 4.23 Döküm gövdesinin kartuş ekseninden kesit görüntüsü	107
Şekil 4.24 Su giriş detaylarının kesit görüntüsü	107



TABLÖLER DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 2.1 Parçanın ağırlığına göre döküm hızı (Megep, 2014)	45
Tablo 2.2 K katsayısı değerleri (Megep, 2014)	46
Tablo 2.3 Metal alaşımı çekme oranları (Candeğer, 2001)	49
Tablo 3.1. CuZn39Pb1Al-B malzeme tanımı (ASBW, 2023).....	61
Tablo 3.2. CuZn39Pb1Al-B malzemesinin kimyasal kompozisyonu (ASBW, 2023)	61
Tablo 3.3. Mikro yapısı ve imalat özellikleri (ASBW, 2023).....	62
Tablo 3.4. CuZn39Pb1Al-B malzemesinin fiziksel özellikleri (ASBW, 2023).....	63
Tablo 3.5. CuZn39Pb1Al-B malzemesinin mekanik özellikleri (ASBW, 2023).....	63
Tablo 3.6. Malzeme tanımı (Breslavsky, 2023)	64
Tablo 3.7. C45E maça kalıp hammaddesinin kimyasal bileşim % değerleri (Breslavsky, 2023)	65
Tablo 3.8. Kokil kalıbı için kimyasal bileşim yüzde oranları (Albaksan, 2023).....	66
Tablo 3.9. CuCoNiBe malzemesinin fiziksel özellikleri (Albaksan, 2023).....	66
Tablo 3.10. CuCoNiBe malzemesinin mekanik özellikleri (Albaksan, 2023).....	66
Tablo 3.11. Basınçlı döküm yönteminde hata türleri ve giderme yöntemleri	74
Tablo 3.12. Kum maça üretiminde karşılaşılan hata türleri ve giderme yöntemleri .	79
Tablo 3.13. Bosello Max teknik özellik tablosu (Zeiss Carl Türkiye, 2024)	83
Tablo 3.14 Nikon SMZ 745T Stereo Mikroskop Özellikleri (Karfo Endüstriyel, 2024)	85
Tablo 4.1. Döküm ağırlık değerleri	93
Tablo 4.2 Ölçüm Raporu	96

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	I
ABSTRACT.....	II
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR.....	III
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	IV
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	V
TABLolar DİZİNİ.....	VIII
İÇİNDEKİLER.....	IX
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER.....	5
2.1 Dökümün Tarihçesi.....	5
2.2 Döküm Tekniği.....	6
2.3 Basınçlı Döküm Yöntemi.....	8
2.3.1 Üretim Yöntemine Göre Döküm Yöntemi.....	10
2.3.2 Makine Tipine Göre Basınçlı Döküm Yöntemi.....	17
2.3.3 Basınçlı Döküm Kalıpları.....	19
2.3.4 Basınçlı Dökümde Kullanılan Kalıp Malzemeleri.....	27
2.3.5 Basınçlı Döküm Prosesinde Kullanılan Alaşımlar.....	28
2.3.6 Basınçlı Dökümde Meydana Gelen Hatalar.....	31
2.3.7 Basınçlı Dökümde Yolluk Sistemleri.....	41
2.3.8 Besleyici Tasarımı.....	46
2.4 Döküm Prosesini Etkileyen Tasarım Parametrelerinin Simülasyonu ve Literatürde Yapılan Çalışmalar.....	51
3. MATERYAL VE YÖNTEMLER.....	59
3.1 Materyal.....	59
3.1.1 Armatür.....	59
3.1.2 Pirinç Döküm Malzemesi (Bakır Çinko Alaşımı).....	60
3.1.3 İmalat Çeliği (Kum Maça Kalıbı).....	64
3.1.4 Kokil Kalıbı (Batarya Kalıbı CuCoNiBe).....	65
3.2 Yöntem.....	67
3.2.1 3 Boyutlu Tasarım Programı (Siemens NX 12).....	68
3.2.2 Simülasyon Programı (Magmasoft 6.0).....	68
3.2.3 Alçak Basınçlı Döküm Tezgâhı.....	73
3.2.4 Kum Maça Tezgâhı.....	79
3.2.5 Su ve Hava ile Sızdırmazlık Testi.....	81

3.2.6	2D X-Ray Muayene Cihazı.....	83
3.2.7	3 Boyutlu Tarama Cihazı	84
3.2.8	Stereo Mikroskop	85
4.	ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	86
4.1	Farklı Yolluk ve Besleyici Tasarımlarında Analiz Sonuçlarının Yorumlanması.....	86
4.2	Boyutsal Ölçülerinin Değerlendirilmesi.....	95
4.3	Deney Gövdesi ile Bilgisayar Ortamındaki 3B Modelin Taranan Görüntüsünün Karşılaştırılması.....	97
4.4	Radyografik Muayene ile Simülasyon ve Deneysel Üretimin İncelenmesi.....	98
5.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	108
	KAYNAKLAR.....	111

1. GİRİŞ

Su, insan yaşamının en vazgeçilmez bir gereksinimidir. Tarihte ilk çağlarından beri insanlar için su kaynakları kutsal sayılmış ve aynı zamanda yaşama tutunacakları bir mevki olmuştur. Mezopotamya başta olmak üzere tüm medeniyetler Nil, Ganj, Sarı Nehir, Fırat, Kızılırmak, Dicle ve Sakarya gibi nehirlerin yatağına kurulmuştur. Su kenarından biraz uzakta yerleşim yerini kuran insanlar ise suyu yaşadıkları bölgeye çekmeye çalışmışlardır. Yerleşik hayata geçen insanların nüfusunun artması ile suya olan ihtiyaç da orantılı şekilde artmıştır. Temiz ve tatlı suyun kısıtlı olması sebebiyle suya olan önem daha da artmıştır. Bu nedenle insanlık en başından beri suyu en verimli bir şekilde yaşam alanlarına ulaştırmaya çalışmıştır. Başlarda basit ve verimsiz malzemeler ve el aletleri ile açılan su yollarından gelişen teknolojiyle birlikte plastik borularla yüzlerce kilometre öteden şehrin tamamına oradan da evinin mutfağına, banyo ve lavabosuna bahçe ve terasına neredeyse tüm binayı örümcek ağı gibi kaplayan sıhhi tesisat sistemi ile yanı başına çekmeyi başarmıştır. Artık, suyu istediği yerde istediği şekilde kullanan insanlar için en önemli konu suyu tasarruflu kullanmak ve suyu doğru şekilde kontrol etmek olmuştur (Tolunay, 2023).

Günümüzde su taşımada kullanılan en yaygın armatürler pirinç alaşımlı hammaddelerden üretilenler olmuştur. Sadece armatür değil içerisinde kullanılan ve ürünü oluşturan çoğu alt parçalarında suya temas eden kısımları pirinç alaşımlı malzemeden üretilmektedir. Pirinç alaşımlı hammaddenin kullanılmasının ana sebepleri ise diğer paslanmaz çeliklerden nispeten daha ucuz, daha kolay işlenebilir ve su ile teması sırasında diğer metallere oranla çok daha az tepkime göstermesidir.

Armatürler birbirinden farklı fonksiyonları ile günlük ihtiyaca göre tasarlanmış metal alaşım gövdelerdir. Bu gövdeler genellikle alçak basınçlı döküm yöntemi veya sıcak dövme yöntemi kullanılarak üretilmektedir. Döküm yöntemi ile üretilen bir gövdenin sıcak dövme ile üretilene kıyasla en belirgin özelliği karmaşık iç detaylara sahip olmasıdır. Öte yandan sıcak dövme işleminde üretilen parçaların, döküm yöntemine göre daha fazla çekme, yorulma ve akma mukavemetine sahiptir. Döküm yönteminde sıvı metal, kalıp içerisindeki boşlukları doldurarak ilerlerken kalıbın şeklini alır. Dövmede ise iç detaylara sahip olmayan genellikle dış görünüş ve maçaların detaylarını çıkarabilecek kadar işlem yapılmaktadır.

Pirinç alaşımlı hammaddeye sahip armatür gövdesinin üretimi hattından kısaca bahsetmek gerekirse, alçak basınçlı dökümden veya sıcak dövme hattından çıkan ham armatür gövdeleri, alt parçalarının montajlanabilmesi ve mamul haline gelebilmesi için belirli tezgahlarda işleme tabi tutulurlar. Bu işlemler ihtiyaca göre yolluk kesim tezgâhları, otomat tezgâhları, CNC (Computer Numerical Control) tezgâhları, polisaj tezgâhları ve krom kaplama üretim hattıdır. Tüm bu işlemlerden geçen gövdeler standartlarına uygun testleri yapıldıktan sonra ürün haline gelmesi için montaj hattına sevki yapılır.

Endüstride tercih edilen alçak basınçlı döküm yöntemi, hassas toleranslarda seri üretim yapabilen, düzgün yüzey kalitesine sahip parçaların üretimine imkân tanıyan ve imalat maliyetlerinde verimlilik sağlayan bir üretim metodu olarak öne çıkar. Basınçlı dökümle üretilen bu parçalar, küçük ve karmaşık yüzey özelliklerine sahip olduklarından, otomotiv ve diğer endüstrilerde yüksek miktarlarda seri üretim için sıklıkla tercih edilmektedir (Gözen, 2007). Armatür gövdelerinde istenilen detayların özellikleri ile alçak basınçlı döküm yönteminin sağladığı üretim özelliklerinin örtüşmesinden dolayı gövdeler bu metot ile üretilmektedir. Alçak basınçlı döküm prosesi, döküm kalıbının alt kısmında konumlanan ergitme ocağındaki sıvı metalin yüzeyine basınç uygulanması sonucu, dikey yolluk tüpü boyunca yükselen sıvı metalin kontrollü bir şekilde kokil kalıbını doldurmasını esas alan işlemdir.

Armatür imalatında karşılaşılan ana sorunlar üretimin ilk adımı olan döküm prosesinde yaşanmaktadır. Döküm prosesinde, doldurmazlık, çekme, gözenek-gaz boşluğu, çatlak, süngerimsi yapı, maça kırılması, maça çatlağı, maça kaçıklığı gibi problemler meydana gelebilmektedir. Bu tip hatalar nedeniyle; basınçlı döküm işleminde, üretilmesi istenilen her parça için döküm parametrelerinin belirlenmesi iş parçasının kalitesi ve verimi için oldukça önemlidir. Döküm parametreleri, kalıp sıcaklığına, döküm sıcaklığına, enjeksiyon basıncına, enjeksiyon hızına, yolluk tasarımına, yolluk giriş geometrisine, ergiyik malzemenin parçaya ilk girdiği konuma, parçanın iç detaylarının geometrisine, besleyicinin konumuna ve besleyicinin hacmine, kalıp yüzey pürüzlülüğüne, kalıp tasarımına, alaşım türüne bağlı olarak değişim göstermektedir.

Bu bağlamda literatürdeki bazı çalışmalar şu şekildedir;

- Alper ULUDAĞ tarafından yapılan ‘Basınçlı Döküm Yönteminde Kalıp Sistem Tasarımı ve Simülasyon Analizi’ isimli çalışmada, basınçlı döküm metoduyla zamak alaşımlı malzemeden üretilecek olan iş parçasının 2 ve 4 gözlü tasarımlarını simülasyon yazılımı ile incelenmiş ve en uygun sonuç elde edilmiştir (Uludağ, 2007).
- Ahmet EŞİYOK tarafından yapılan ‘Hassas Dökümde Kullanılan Mum Kalıbında Besleme Yolluklarının Yerinin 3 Boyutlu Optimizasyonu’ isimli çalışmada, iş parçasına ait besleme yolluk sisteminin konumunun tayini için optimizasyon çalışması yapılmıştır (Eşiyok, 2011).
- Onur KENAR tarafından yapılan ‘Yüksek Basınçlı Döküm Prosesi ile Üretilen Alüminyum Otomotiv Parçalarında Kalıp Tasarım Değişikliklerinin Parça Döküm Kalitesi Üzerine Etkilerinin Araştırılması’ isimli çalışmada, kalıp içerisinde bulunan hava ve gazların kalıptan tahliye edilmesi ve sıkışan gazların bölgeleri ve miktarları analiz programı ile incelenmiştir (Kenar, 2019).
- Hakan YAVUZ tarafından yapılan ‘Alüminyum Alçak Basınçlı Dökümde Kullanılan Soğutma Sisteminin Veriminin Araştırılması’ isimli çalışmada, soğutma sistemlerinden elde edilen soğutma hızı verileri magmasoft programında tespit edilmiştir (Yavuz, 2019).

- Salih KALYONCU tarafından yapılan ‘Aluminyum Alaşımlarda Alçak Basınçlı Döküm Simülasyonu’ isimli çalışmasında, 2 farklı jant modelinin dökümden önce simülasyon programında döküm analizleri gerçekleştirilmiştir. Dökümde meydana gelebilecek muhtemel hataların tamamını ortadan kaldırıncaya kadar deneme çalışmaları yapılmıştır (Kalyoncu, 2020).
- Musa Mert Özdemir tarafından yapılan ‘Sürekli Döküm Yöntemi ile Çelik Üretimine Ait Proses Optimizasyonu’ isimli çalışmasında, döküm yazılımı ile prosesteki birçok parametreyi ele alarak bu parametrelerin tesbiti konusunda sonuçlar elde edilmiştir (Özdemir, 2020).
- Ramazan AYDIN tarafından yapılan ‘Ticari Araçlarda Kullanılan Yapısal Elemanın Alçak Basınçlı Döküm Yöntemiyle Alüminyum Alaşımdan Üretilebilirliğinin İncelenmesi’ isimli çalışmasında, alüminyum olarak tasarımı yapılan akson parçasının döküm prosesinde uygunluğunu kontrol etmek için dolum ve katılaşma analizlerini Magmasoft programında yapmıştır (Aydın, 2022).
- Tuğçe YAĞCI tarafından yapılan ‘Alüminyum-Silisyum Alaşımlarının ve Alçak Basınçlı Döküm Prosesinin Simülasyon Destekli Tasarımı’ isimli çalışmasında, alçak basınçlı dökümle alüminyum alaşımlı jant üretimi için analiz sonuçları ile fiili üretim verilerini karşılaştırmış ve alaşım kompozisyonuna bağlı olarak tasarım doğrulama çalışmaları yapmıştır (Yağcı, 2021).

Bu çalışmalara ek olarak gerçekleştirilen tez çalışması kapsamında, bakır alaşımlı (CuZn39Pb1Al-B) pirinç malzemenin alçak basınçlı döküm yöntemi ile üretiminde ıskarta oranlarının düşürülmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda üretilecek parçanın (CAD) bilgisayar destekli tasarım programında 3 boyutlu katı modeli oluşturulmuş ve bu tasarlanan katı modeller (CAE) bilgisayar tabanlı döküm simülasyon yazılımı yardımıyla sayısal bir inceleme yapılmış ve analizler yorumlanmıştır. Çalışmanın sonucunda optimum tasarımı asgari sürede elde ederek, hammadde kaynaklarını koruyarak ve döküm prosesi parametrelerini doğru ve yerinde kullanarak verimli bir üretim süreci kazanmaya yönelik çalışmalar yapılmıştır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1 Dökümün Tarihçesi

Arkeolojik bulgular, döküm yönteminin M.Ö. 4000 yıllarına dayanan bir geçmişi olduğunu göstermektedir. Eski çağlarda kullanılan eritme ocaklarında genellikle bakır cevheri ile odun, tabakalar halinde doldurulur ve ayakla çalışan hayvan derisi körükler yardımıyla eritilen metal, taş veya pişirilmiş kilin işlenmesiyle elde edilen kalıplara dökülürdü. Önceleri tek parça açık kalıplarla yassı el aletleri üretimi için kullanılan döküm tekniği, sonrasında yuvarlak hatlara sahip parçaların üretilebilmesi için iki veya daha çok parçaya sahip kalıpların kullanımıyla geliştirildi. M.Ö. 2000 yıllardan itibaren pişirilmiş kilden üretilen maçalar kullanılarak, içi boşluklu iş parçaları elde edildi. Bununla birlikte kalıplamada mum modellerin kullanıldığı ve ısıtılarak eritilen mumun kalıbı terk etmesiyle kalıp boşluğunun oluşturulduğu hassas döküm yöntemi de aynı asırlarda geliştirilmiştir. M.Ö. 1500 yılından başlayarak döküm tekniğinin özellikle Mezopotamya ve Çin’de çok geliştirildiği ve Çinlilerin çok parçalı kalıplarla karmaşık parçaların üretiminde ustalaştığı görülmektedir (Aran, 2007).

Görüldüğü gibi, döküm yöntemi, köklü bir tarihe sahip eski bir üretim tekniğidir. Bu yöntemle ilgilenen ve günümüz döküm tekniklerinin temelini atan en eski bilim insanlarından biri olan Reaumur (1683-1757), dökümhanelerde önemli çalışmalara liderlik etmiştir (Guomirig Li, 2000'ye göre). Bununla birlikte, 1849'da Sturges, 1852'de Barr, 1856'da Helize ve 1877'de Dusanbury gibi isimler, el tipi döküm makinelerinin patentlerini almışlardır. Bu gelişmelerin ardından Ottmar Mergenthahaler, Linotip makinesini geliştirerek bu alandaki önemli bir ilerleme sağlamıştır (Nişancı, 2021).



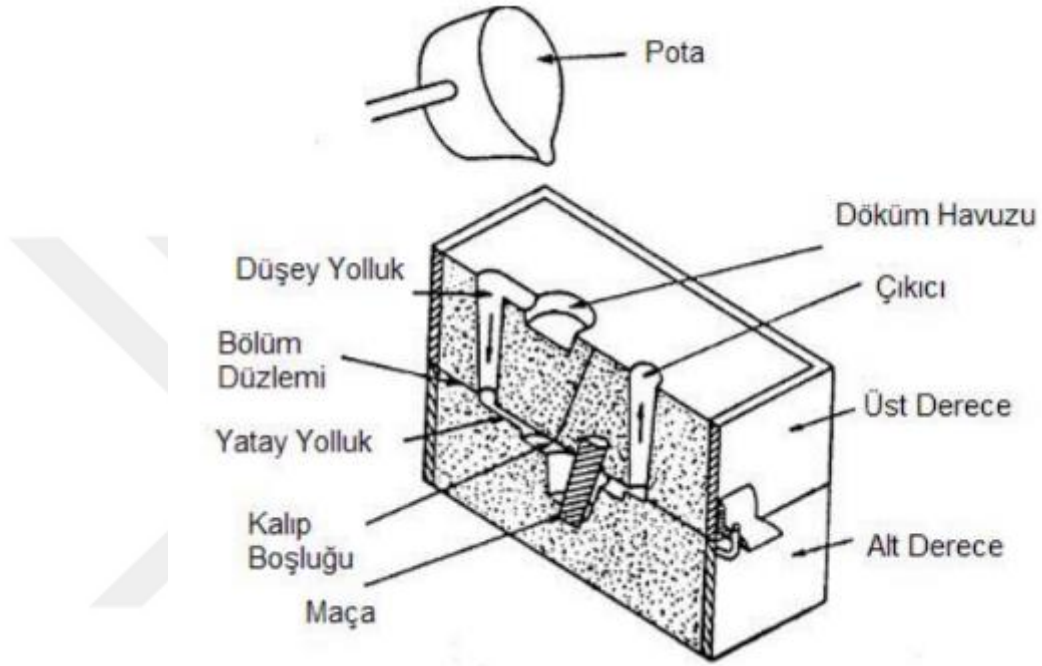
Şekil 2.1 Ottmar Mergenthaller tarafından 1890 yılında geliştirilen, dizgi makinesi (Gözen, 2007)

1980'lerin sonlarına kadar kullanımı devam eden Linotip makinesi, H.H. Doehler tarafından 20. yüzyılın başlarında ilk basınçlı döküm makinesi patenti almak için kullanılan çalışma prensibinden ilham almıştır. Linotip makinesinin geliştirilmesi ve Doehler'in patentıyla birlikte başlayan basınçlı döküm çalışmalarını takip eden ilk endüstriyel uygulama, kurşun ve kalay alaşımlarından motor yataklarının dökümüdür. Bu uygulamanın getirdiği deneyimlerle daha yüksek mekanik özelliklere sahip alaşımların dökümü üzerinde çalışmalara başlanmıştır (Nişancı, 2021).

2.2 Döküm Tekniği

Döküm prosesi, ergimiş metalin belirli bir şekle sahip kalıplara dökülmesi işlemidir. Bu kalıplar, üretilmek istenen parçanın özgün şekil ve detaylarını içeren boşluklar içerir ve içine dökülen sıvı metal, kalıp içinde katılaşarak kalıbın şeklini alır. Sonuç olarak, istenilen parça üretilmiş olur (Şekil 2.2). Kalıplar, genellikle açık ve kapalı kalıp olarak iki temel tipe ayrılabilir. Ancak döküm sektöründe yaygın olarak kapalı kalıplar kullanılır. Kapalı kalıpların özelliği, sıvı metalin kalıba dökülmesi için bir yolluk veya kanal sisteminin bulunmasıdır. Bu sistem, sıvı metalin düzenli bir şekilde kalıba dökülmesini sağlar ve sonuçta kaliteli döküm parçalarının üretilmesine olanak tanır (Nişancı, 2021).

Döküm kalıpları farklı ısı dirençlerine sahip malzemelerden yapılır, bunlar metal, alçı, seramik ve kum olabilmektedir. Bazı kalıplardan, katı fazdaki iş parçasını kalıptan çıkartmak için kalıbı bozmak gerekir (kum kalıp gibi) ve bozuldukları için bu kalıplar bir defa kullanılabilirler. Bazıları ise kalıcı kalıplar olarak adlandırılır ki bu da birden fazla parça üretmek için çok daha uygun olan bir yöntemdir (metal, kokil kalıplar gibi).



Şekil 2.2 Döküme hazır bir kapalı kum kalıbının kesiti (Aran, 2007)

Döküm işlemi, metalin eritilmesi ve istenilen döküm sıcaklığına ulaştırılmasını ile başlar. Döküm kalıbına döküldüğünde, erimiş metalin soğumaya başlamasıyla birlikte belirli bir sıcaklıkta katılaşma süreci başlamış olur. Katılaşma tamamlandığında, hala sıcak olan döküm parçası oda sıcaklığına kadar soğur. Bu süre zarfında, önemli miktarda ısı döküm parçasından uzaklaştırılır ve bu süreç, malzemenin iç yapısı ve dolayısıyla özellikleri üzerinde belirleyici bir rol oynar.

Döküm işlemi sonrasında, parça kalıptan çıkarılır ve parçaya ait olmayan kısımlar kesilip temizlenir. Yüzey temizliği ve kalite kontrol işlemleri yapılır. Ayrıca, varsa ısıl işlem uygulanabilir. Son olarak, döküm parçası gerekli kalite kontrol testlerine tabi tutulur ve imalat tamamlanır (Aran, 2007).

2.3 Basınçlı Döküm Yöntemi

Basınçlı döküm yöntemi, sıvı metalin metal bir kalıba basınç altında dökülmesi esasına dayanan bir döküm yöntemidir. Bu yöntem, kokil döküm yöntemine benzerlik gösterir; ancak aralarındaki temel fark, kokil dökümünde yerçekimi etkisiyle dolumun gerçekleşmesiyle karşımıza çıkarken, basınçlı dökümde sıvı metalin basınç altında kalıba doldurulmasıdır (Uludağ, 2007).

Basınçlı döküm yönteminin avantajları,

- Karmaşık şekilli modeller kolaylıkla üretilebilir.
- Erimiş malzeme basınç altında doldurulduğundan, diğer yöntemlere göre daha ince kalınlıkta ve ölçüsel hassasiyeti fazla parçalar üretilebilir.
- Tek kalıpta aynı sürede birden çok parça dökülebilir ve imalat hızı yüksektir.
- Yüzey işlemi olarak çok az gerekebilir veya kullanım yerine göre hiç istemeyebilir.
- Daha ince cidarlı parçaların dökülmesi hammadde maliyetlerini düşürmektedir.
- Alüminyum alaşımları gibi bazı alaşımlar bu yöntem ile üretildiklerinde diğer döküm yöntemlerine göre daha yüksek mekanik özellikler gösterirler.
- Dökülebilir parça ağırlıkları olarak geniş yelpazeye sahiptir.

Basınçlı döküm yönteminin dezavantajları ise,

- Üretilecek parçaların tezgâh ölçülerine ve özelliklerine göre kısıtlanır.
- Tasarım aşamasında yolluk, besleyici ve hava çıkışlarının tasarımları ve konumları verimli üretim açısından çok önemlidir.
- İlk yatırımları çok yüksektir. Bu yöntem ile başta otomotiv sektörü olmak üzere birçok farklı sektörler için parçalar üretilebilir (Şekil 2.3). Gövdeler, bağlantı parçaları, vanalar, aparatlar vb. gibi ana ve yardımcı parçalar üretilebilir (Uludağ, 2007).



Şekil 2.3 Döküm parçalara örnek görseller (Gültekin, 2011)

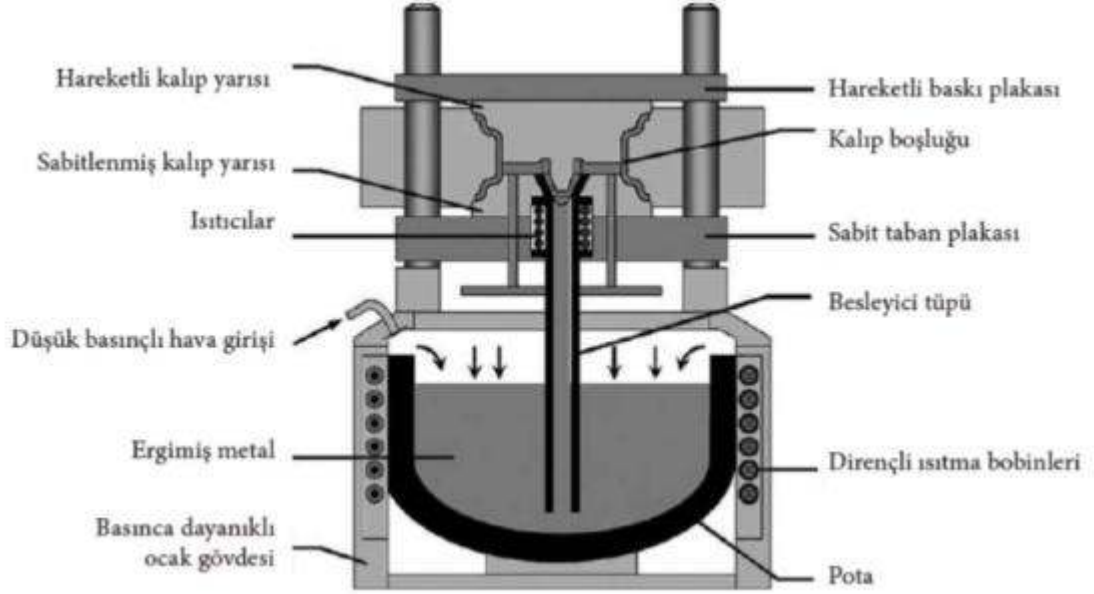
2.3.1 Üretim Yöntemine Göre Döküm Yöntemi

2.3.1.1 Alçak Basıncılı Döküm Yöntemi

Bu yöntemde kalıbın alt kısmında bulunan, sıvı metalin içinde bulunduğu pnömatik kontrollü bir pota bulunur. Bu pnömatik ile sıvı yüzeyine hava basıncı uygulanır ve basınç ile sıvı metal yukarı yönde (yer çekiminin tersi yönünde) hareket eder. Potadan metal boru vasıtasıyla kalıbın içine dengeli ve kontrollü bir şekilde dolar. Ergiyik metalin kalıbı tamamen doldurmasından sonra basınç dengeli bir şekilde düşürülür ve yolluklar katılaştıktan sonra işlem tamamlanır (Aydın, 2022).

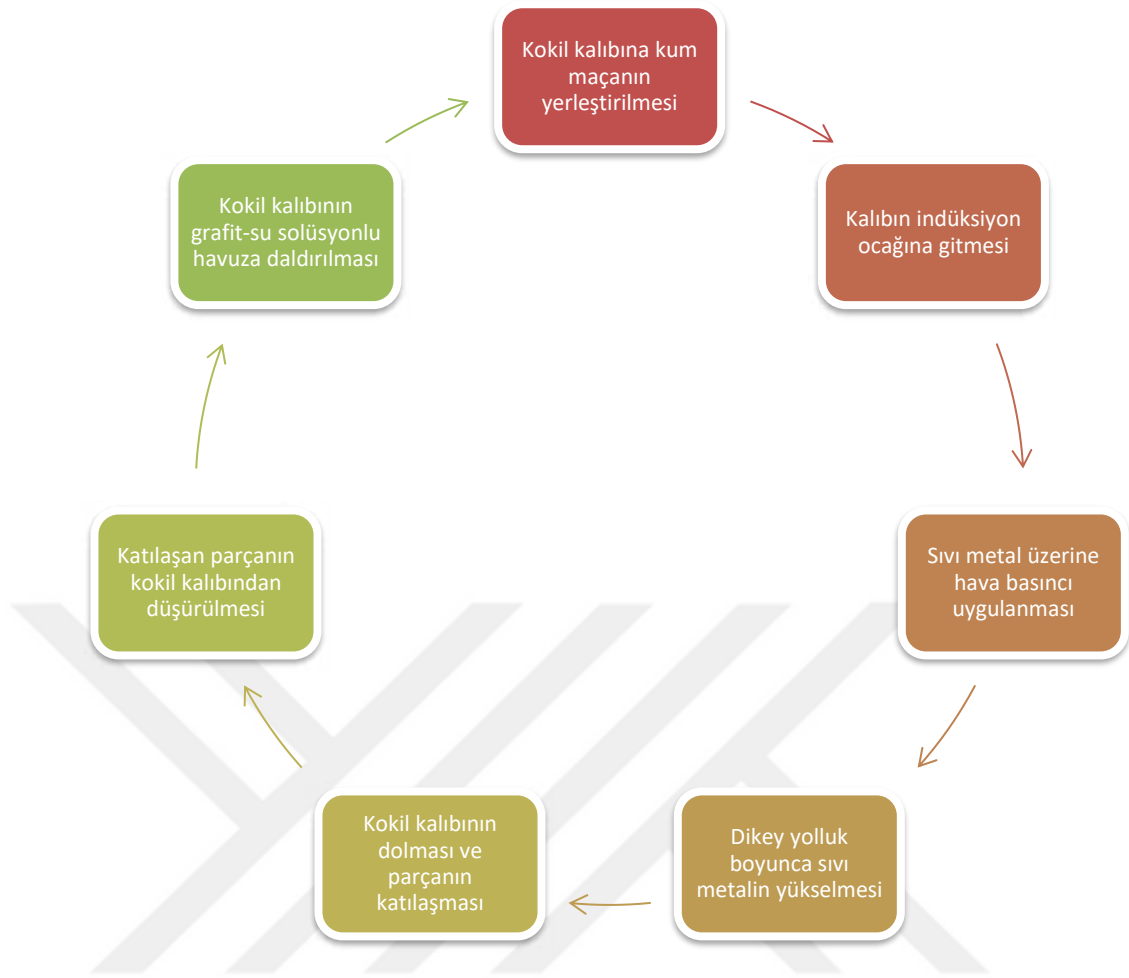
Döküm kalıplarının yüzeyleri özel bir kaplama ile kaplanır. Bu, içerisindeki sıvı metalin kontrol altında katılaşmasını sağlama amacına hizmet eder. Ayrıca, ergiyik metal ile kalıp çeliği arasındaki doğrudan teması önler, bu da kalıpların daha uzun ömürlü olmasına katkı sağlar. Kaplama aynı zamanda daha iyi bir yüzey kalitesi elde etmede ve sıvı metalin kalıbın her tarafını eşit miktarda doldururken dengeli bir şekilde yayılmasında önemli bir rol oynar. Bu kaplama genellikle seramik kaplama olarak uygulanır ve genellikle kalıp ömürlerini 50,000 ila 70,000 döküme kadar uzatır (Aydın, 2022).

Bu döküm yöntemi, karmaşık geometrili parçaların yüksek kalite ile üretilebileceği bir yöntemdir. Bu noktada, kalıp tasarımı büyük bir öneme sahiptir. Optimize edilmiş ve uygun bir kalıp tasarımıyla, tek bir yolluk girişi kullanarak besleyiciye gerek duymadan %90 oranında verimli bir döküm gerçekleştirilebilir. Dökülen parçaların yüzey kalitesi ve boyutsal ölçü doğruluğu oldukça iyidir (Aydın, 2022).



Şekil 2.4 Alçak basınçlı döküm kalıp elemanları (Aydın, 2022)

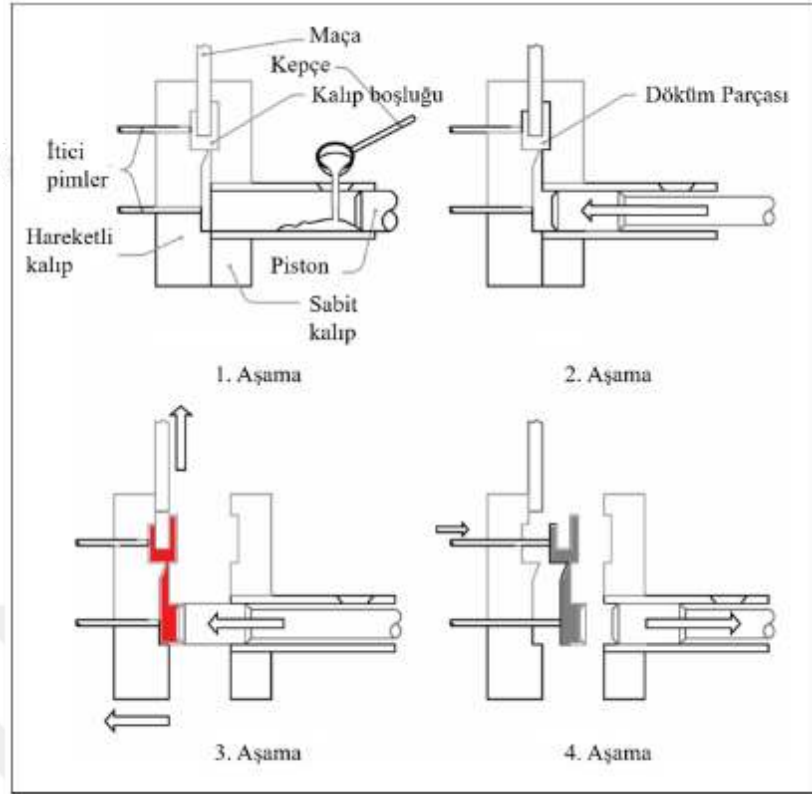
Proses sırasında genellikle kullanılan basınç 0.05 MPa'nın altındadır. Sıvı metalin kalıp içine dökülmesi sırasında içerideki havanın döküm kalıbından tahliye edilebilmesi için tasarım aşamasında uygun noktalara hava çıkış filtreleri eklenir. Proses tamamlandığında, parçanın kalıptan kolayca çıkarılabilmesini sağlamak için hareketli iticiler kullanılır. Döküm tezgahının proses döngüsü şekil 2.5'te gösterilmiştir. Eğer tasarım, maça gerektiren bir dizayn ise, bu kum maça veya kalıba bütünleşik hareketli maça da olabilir. Hareketli maça tercih edilirse, kalıp maliyeti artarken parça birim fiyatında avantaj elde etmek mümkün olabilmektedir. Kum maça her parça için harcanan bir yapıda olduğundan, kalıp maliyeti düşük kalırken, parça birim fiyatı bir miktar artabilir. Bu yöntem, döküm sonrasında suda veya özel bir çözeltide eriyerek kaybolan kum maça kullanılarak iç detayları boşaltılmış ağırlık açısından daha da optimize edilmiş döküm parçalarının elde edilmesine olanak sağlamaktadır (Aydın, 2022).



Şekil 2.5 Alçak basınçlı döküm tezgahının prosesdeki döngüsü

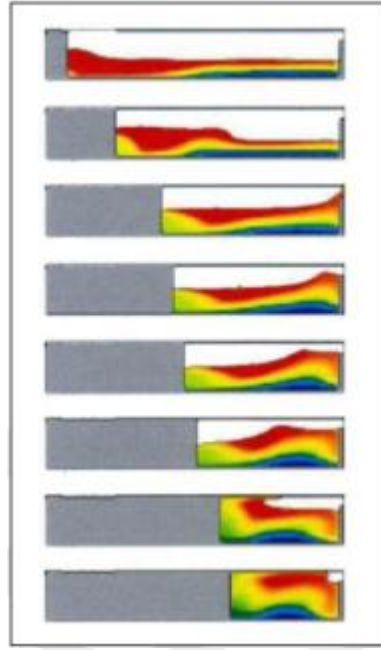
2.3.1.2 Yüksek Basınçlı Döküm Yöntemi

Yüksek basınçlı döküm yöntemi (HPDC), soğuk hazneli basınçlı döküm makineleri kullanılarak gerçekleştirilir. Bu yöntem, genellikle yüksek ergime derecesine sahip metallerin, özellikle alüminyum, magnezyum ve bakır alaşımlarının dökümü için tercih edilir. Süreç, harici bir ergitme fırınında ergitilen metal alaşımının dozajlama ocağında bekletilmesiyle başlar. Sıvı metal, dozajlama ocağından kepçe veya huni kullanılarak hazneye dökülür, ardından piston yardımıyla kalıp boşluğuna doldurulur ve katılaşana kadar belirli bir basınç altında tutulur. Metalin kalıba dökülmesini sağlayan pistonun hareketi yatay yönde gerçekleşir. Katılaşma tamamlandığında, kalıp yarıları ayrılır ve parça, kalıpta bulunan iticilerin yardımıyla kalıptan ayrılır. Şekil 2.6’de yüksek basınçlı döküm yöntemi ile parça üretiminin 4 aşamasını şematik olarak göstermektedir (Işık, 2021).



Şekil 2.6 HPDC ile parça üretim aşamalarının şematik gösterimi (Işık, 2021)

Yüksek basınçlı döküm yöntemi ile döküm işlemi 3 farklı kısımdan oluşmaktadır. Bu kısımlar 1. faz, 2. faz ve 3. faz olarak adlandırılmaktadır. Dozaj ocağından hazneye aktarılan ergimiş metalin dalgalanmasının bittiği (enjeksiyon gecikme), türbülans oluşturmada, sıvı metal içine hava karışmasına neden olmadan hazne içindeki sıvı metalin düşük hızda piston ilerlemesiyle seviyesinin yükselmesi ve kalıp boşluğuna doğru ilerlemesi 1. faz olarak tanımlanmaktadır. 1. fazda piston ve hazne içindeki sıvı metalin hareketi şematik olarak şekil 2.7’de gösterilmiştir (Işık, 2021).

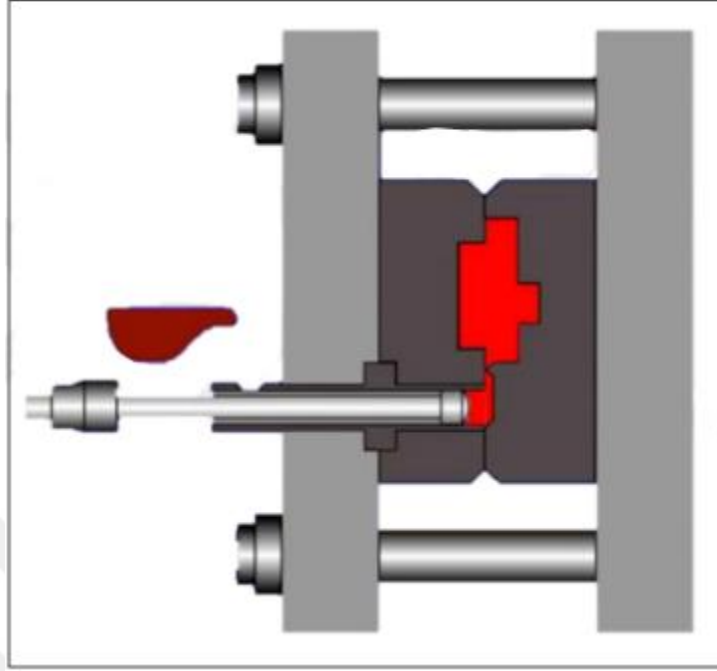


Şekil 2.7 1. Fazda piston ve hazne içindeki sıvı metalin hareketinin şematik gösterimi (Işık, 2021)

Ergimiş sıvı malzeme dozaj ocağından hazneye aktarıldıktan sonra sıvı metal sıcaklığı düştüğünde malzemenin kısa süre içinde kalıp içine dolumunu gerçekleştirmek gerekmektedir. Piston ilerleme hızı düşük olduğunda haznede hava ile temas halindeki sıvı metal oksitlenerek ve soğuyarak geri kalan sıcak madene karışır. Bu durumda üründe çeşitli kalitesizliklere neden olur. Piston ilerleme hızı yüksek ise haznedeki sıvı metalde türbülans oluşmakta ve sıvı metal içine hava hapsolmaktadır. Hapsolan bu hava son üründe döküm boşlukları şeklinde kalitesizlik ortaya çıkartmaktadır. Bu durumu ortadan kaldırmak için hazne doluluk oranı, pistonun hızı, ivmelenmesi ve ikinci faza geçiş noktası parametreleri 1. fazda yüksek basınçlı döküm yönteminin başarısını belirleyen en önemli parametreler olarak bilinmektedir (Işık, 2021).

Ergimiş sıvı malzemenin hazne içine dolduktan sonra ilk olarak yolluk daha sonra parçanın dolumu gerçekleşmektedir. 2. Faz ise pistonun ivmelenerek yolluktan kalıp boşluğuna milisaniyeler düzeyinde yüksek hızda sıvı metal ile doldurmasıdır. Şekil 2.8’de 2. faz şematik olarak gösterilmiştir. Yüksek basınçlı döküm yönteminde 2. fazın başlangıç noktası parça kalitesi için en önemli parametrelerden biri olarak bilinmektedir. 2. faz sıvı metal kalıpta parçanın oluşacağı boşluğa girdikten sonra başlarsa üretilen parçalarda döküm hataları meydana gelebilmektedir. Bu sebeple ikinci faz başlangıç noktasının doğru belirlenmesi gerekmektedir.

Bu önemli konum üretilen parçaların geometrik özelliklerine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir (Işık, 2021).



Şekil 2.8 2. faz ile kalıp dolumunun şematik gösterimi (Işık, 2021)

Kalıp boşluğunun tamamının sıvı metal dolması ile piston hızı durmakta ve 3. faz olarak tanımlanan yüksek basınç uygulama fazına geçiş yapılmaktadır. 3. fazda sıvı metal basınç altında katılaştırılmaktadır. Katılaşma, ısı transferi sonucunda sıvı metalin katı hale geçişi olması nedeni ile 3. fazda uygulanan yüksek basınç kadar kalıp içinden ısıyı transfer etmesi amacı ile oluşturulan kalıp soğutma kanallarının tasarımı ve içinden geçirilen ısı transfer yağının da özellikleri önem kazanmaktadır (Işık, 2021).

Verimli döküm parçaları elde edebilmek için kalıp kapama basıncının, metal enjeksiyonu sırasında kalıp içinde oluşan basınçtan daha büyük olması elzemdir. Döküm işlemi esnasında kalıp ayırım hattından dışarıya erimiş madenin fışkırmaması, uygulanan tüm basınç ile kalıbın içinde sıkıştırılması yüksek basınçlı döküm prosesi için çok önemlidir. Aynı zamanda iş sağlığı ve güvenliği kuralları açısından da olumsuz durumlar oluşturabilmektedir (Işık, 2021).

Günümüzde yüksek basınçlı döküm tezgâhlarında hareketli ve sabit döküm kalıplarına hareket hidrolik sistemler ile sağlanmaktadır. Hidrolik prensiplerle hareketli kalıp sabit kalıp ile birleştirilmekte ve kitlenmektedir. Döküm işlemi tamamlandıktan sonra hareketli kalıp aynı hidrolik prensiplerle açılmaktadır (Işık, 2021).

Yüksek Basınçlı Döküm Yönteminin Avantajları

- Son ürüne çok benzer yapıda parça üretimine imkân sağladığı için talaşlı imalatla fazla işlem gerektirmez takım ve malzemeden tasarruf sağlar.
- Yüksek basınçlı döküm kalıpları ilk yatırım maliyetleri yüksek olmasına rağmen seri üretime uygun hızı ve yüksek adetleri sayesinde parça başı maliyetleri düşüktür.
- Karmaşık detaylara sahip parçalar üretilebilir.
- Ölçü toleranslarının hassas olduğu parçaların üretimine uygundur.
- Dar cidarlı parçaların üretimi yapılabilmektedir.
- İyi seviyede yüzey kalitesi sahip parçalar üretilebilmektedir.
- Üretilen parçaların mekanik özellikleri fena değildir.
- Hızlı katılaşmadan dolayı ince taneli mikroyapı elde edilebilmektedir.
- Döküm ağırlığı olarak geniş bir yelpazeye sahiptir.

Yüksek Basınçlı Döküm Yönteminin Dezavantajları

- İlk yatırım maliyetleri yüksektir.
- Üretilecek parçanın boyutları onu üretecek tezgâh plaka büyüklükleri ile sınırlıdır.
- Vakum sistemine sahip olmayan döküm kalıplarında kalıp içerisinde gaz basıncı parçalarda döküm boşluğuna sebep olabilmektedir.
- Üretim prosesinden kaynaklı kalıp dolumunun hızlı ve katılaşmasının kısa sürede olması, yüksek basınçlı döküm yönteminde kullanılacak malzemeleri kısıtlamaktadır. Bu durumda hızlı katılaşmadan dolayı çatlak oluşturmaya eğilimi olmayan alaşımların kullanılması gerekmektedir.

2.3.1.3 Vakum Döküm Yöntemi

Kalıbın içerisinde bulunan basıncın bir vakum pompası ile düşürülmesi ve buna istinaden oluşan basınç farklığı sonucu sıvı metalin kalıba dolmasını sağlayan yöntem vakum döküm yöntemi denir. Basınçlı döküm yöntemine benzer bir yöntemdir.

Vakum döküm yönteminde uygulanan vakum işleminden dolayı kalıp içinde daha az türbülans oluşmaktadır. Bundan dolayı diğer döküm yöntemlerine göre bu yöntemde daha az gaz boşluğu gözlemlenmektedir. Bu yöntem daha sonra ısı işlem görebilecek parçalar için özel bir yöntem olarak da kullanılabilir (Nişancı, 2021).

2.3.1.4 Sıkıştırma Döküm Yöntemi

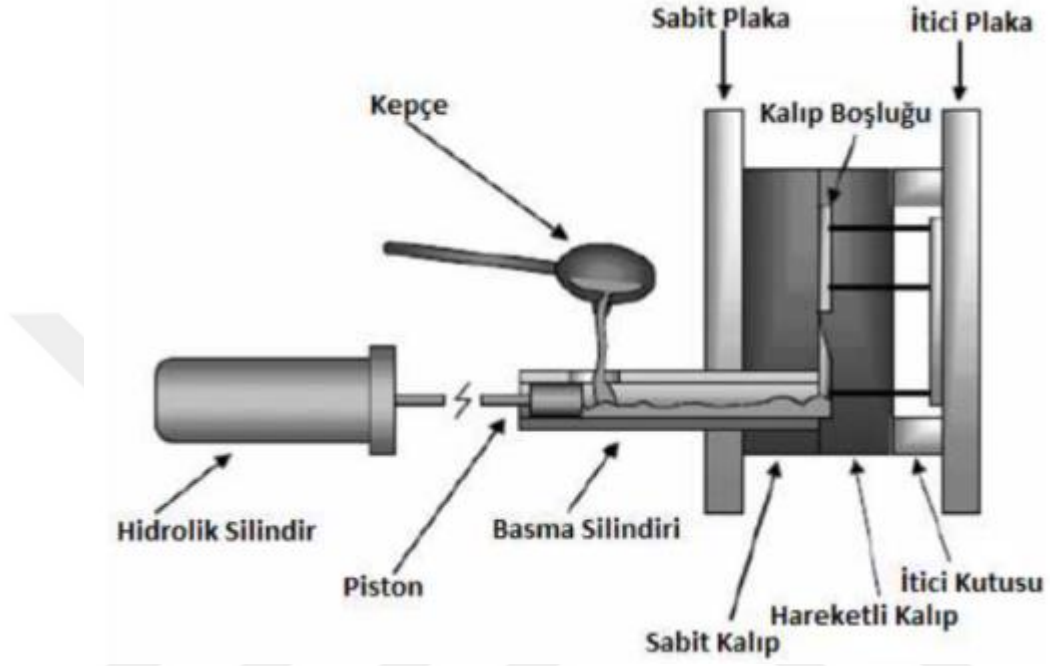
Bu yöntemde ise sıvı metal açık bir kalıba dökülmektedir. Kalıbın kapanmasıyla birlikte sıvı metal sıkışarak kalıbı şeklini almaktadır. Kalıbın içinde metalin hareketi azdır, bu sayede sıvı metal için gereğinden fazla akışkanlık istenilmez. Bu sebeple normal yöntem ile dökülemeyen dövme alaşımlarından oluşan iş parçaları bu yöntem ile dökülebilir. Burada kritik nokta ise metal hacmi, sıcaklığı ve uygulama basıncıdır (50-140MPa) (Nişancı, 2021).

2.3.2 Makine Tipine Göre Basınçlı Döküm Yöntemi

2.3.2.1 Soğuk Kamaralı Döküm Yöntemi

Soğuk kamaralı basınçlı döküm tezgahlarında, sıvı metal soğuk hazne silindrine bir delik aracılığıyla aktarılır. Hidrolik prensibiyle çalışan pistonun ileri yönde hareketiyle, silindir üzerindeki delik kapanır ve kapanmış olan kalıp içerisine sıvı metal yüksek basınç ile kalıba enjekte edilir. Soğuk kamaralı makinelerde döküm işlemi sırasında, kalıp boşluğunun hacminden daha fazla hacimde ergimiş metal, silindir içerisine doldurulur. Piston içerisinde kalan sıvı metal, kalıp boşluğundaki alaşımı katılaşma süresince basınç altında tutmaya yardımcı olur. Daha sonra fazlalık metal döküm parçasından kesilerek atılır (Gültekin, 2011).

Soğuk kamaralı basınçlı döküm işleminde dozajlama ünitesi makinenin dışında konumlanmıştır ve silindirin kalıbı doldurması için döküm süresince yağlanması gerekmektedir. Asal gazlar kullanılmasına rağmen, dozajlama sisteminin açıkta olması ve yanlış kullanılan yağlar nedeniyle dökülen parçalarda oksit ve diğer katılıkların görülmesi mümkündür (Gültekin, 2011).

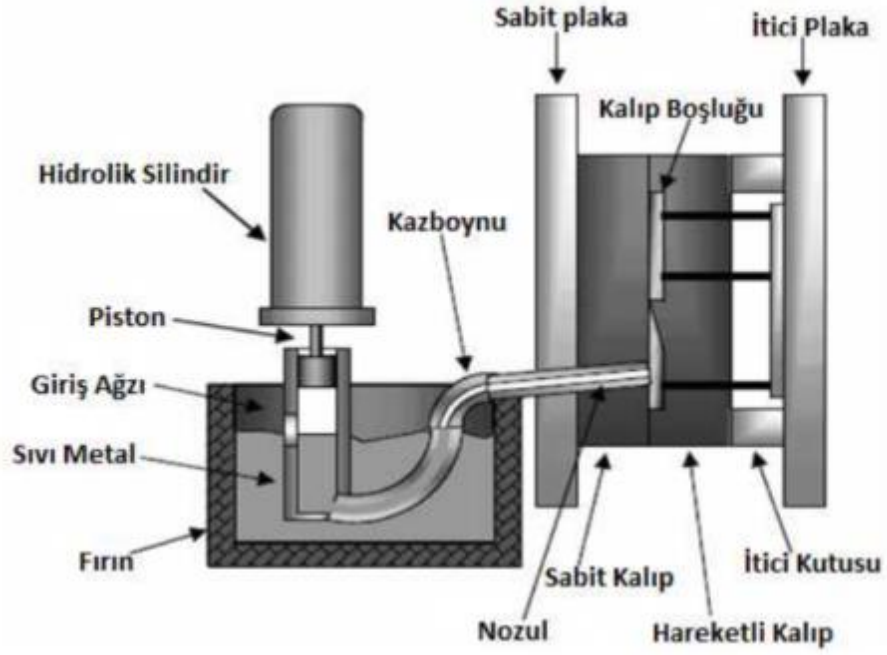


Şekil 2.9 Soğuk kamaralı basınçlı döküm işleminin şematik gösterimi (Gültekin, 2011)

2.3.2.2 Sıcak Kamaralı Döküm Yöntemi

Sıcak kamaralı döküm yönteminde enjeksiyon sistemi, döküm makinesine bağlı bir ocak içerisine daldırılmış konumdadır. Pistonun geriye çekilmesi ile, ergimiş madenin piston içine dolmasına izin verecek bir hacim ortaya çıkmaktadır. Piston ileri yönde hareket etmesiyle, ergimiş madenin silindire aktığı açıklık kapanır. Daha sonra piston basıncı ile sıvı metal, kaz boynu ve nozuldan geçerek kalıbın dolmasına sağlar. Metalin katılaşmasının ardından, piston ileri konumdayken, kalıp yarıları ayrılarak katılaşmış döküm parçasının dışarı atılması sağlanır (Gültekin, 2011).

İnce cidarlı (0,8-1,0 mm) karmaşık geometriye sahip parçaların dökülmesinde sıcak kamaralı basınçlı döküm makineleri, soğuk kamaralı basınçlı döküm makinelerine göre daha elverişli, uygun ve ekonomiktir.



Şekil 2.10 Sıcak kamaralı basınçlı döküm işleminin şematik gösterimi (Gültekin, 2011)

Sıcak kamaralı döküm prosesinde kazboynu denilen dozajlama ünitesi sürekli banyo seviyesinin altında tutulduğundan sıvı metal içerisindeki oksit gibi katışıklar dökülen parçalara bulaşmaz (Gültekin, 2011).

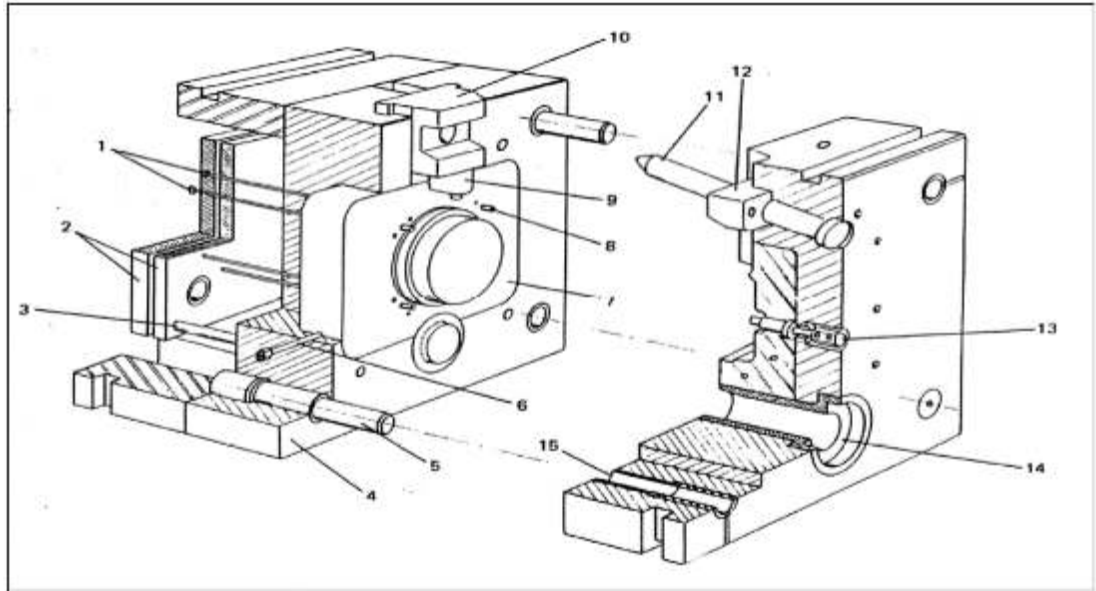
2.3.3 Basınçlı Döküm Kalıpları

Uygun konstrüksiyona sahip basınçlı döküm kalıpları ile kaliteli üretim yapılabilmektedir. İş parçaların şekilli kısımları mümkün olduğu kadar doğrusal olmalıdır, sivri detaylardan ve keskin kenarlardan kaçınılmalıdır. Eşit şekilde soğuma çekme hatalarına mahal vermemek için 1,5 mm'den 4 mm'ye kadar benzer kalınlıklarına sahip cidar kalınlığı sağlanmalıdır. Koniklik açısı 1°' den aşağı olmamalıdır, muhtelif yerlere konacak boşluk, delik ve cep gibi yerlere konacak maçalardaki koniklik açısı ise 1,5°'nin altında olmamalıdır. Parçada vida dişleri zorunlu kalmadıkça dökülmemelidir. Döküm kalıpları için basınçlı döküm işleminde en verimli tasarım elde edilinceye kadar analiz ve simülasyon çalışmaları yapılmalıdır.

Basınçlı döküm kalıplarında yüksek sıcaklık, yüksek basınç gibi etmenler nedeniyle kalıpta; ısıl yorulma, çatlama-kırılma, korozyon-erozyon, çökme gibi sorunlar meydana gelebilir.

Bu tür sorunları en aza indirebilmek için kalıp malzemelerinde olması gereken başlıca gereksinimler şunlardır:

- Yapısal sağlamlık ve homojenlik,
- İşlenebilirlik,
- Sıcak çalışmada sırasında ısı hatalarına karşı yüksek direnç,
- Çalışma esnasında deformasyonu önleyecek yeterlikte sertlik ve mukavemet,
- Moleküler çatlamayı engelleyecek yeterli sağlamlık,
- Dökülen iş parçasının alaşımı aşındırıcı etkisine karşı dayanımı,
- Yüksek ısı iletkenliği,
- Düşük genleşme katsayısı,
- Isı işleminde ölçüsel stabilize olmamalıdır.



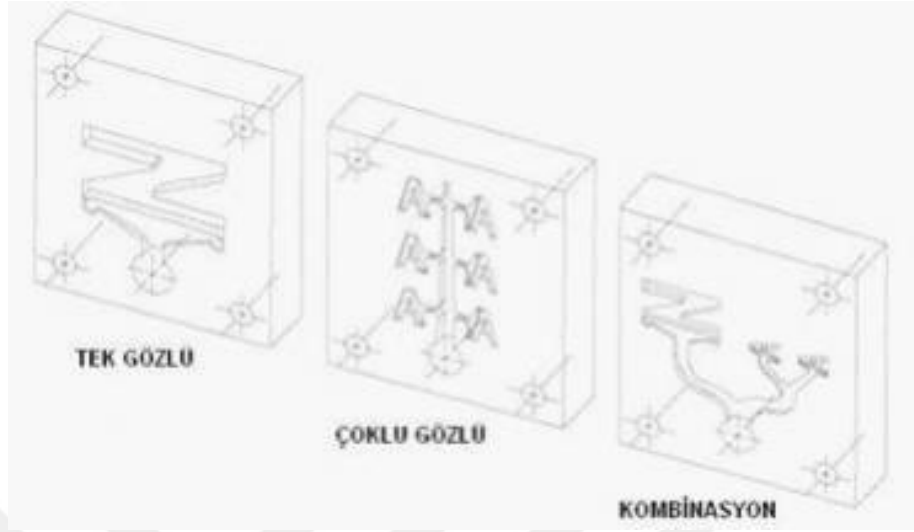
Şekil 2.11 Soğuk kamara basınçlı döküm kalıbı (Niebel, 1989)

1-İtici pim, 2-İtici plakası, 3-Geri itici pimleri, 4-Kalıp seti, 5-Merkezleme pimleri, 6-Soğutma kanalı, 7-Çekirdek, 8-Sabit maça, 9-Hareketli maça, 10-Maça yatağı, 11-Maça sürücüsü, 12-Maça kilidi, 13-Maça soğutma kanalı, 14-Metal girişi (Yolluk), 15-Burç

Basınçlı döküm kalıpları kendini oluşturan elemanlar açısından aşağıdaki gruplara ayrılabilir (Niebel, 1989):

Çekirdek: Çekirdek üretilmesi istenen iş parçasının şekline sahip olan ve kalıp ayırma yüzeyinden ayrılan kısımları içeren bölümdür. Kalıplarda genellikle hareketli ve

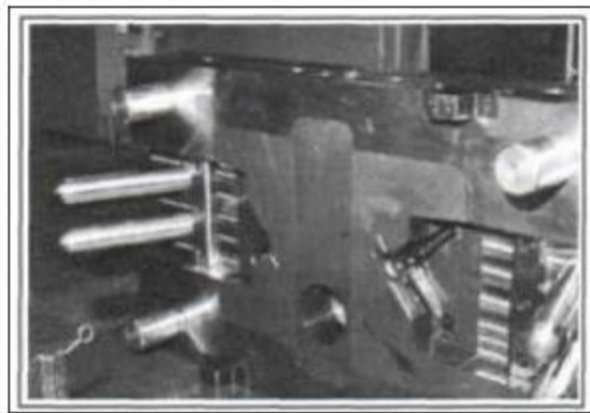
sabit hamillere bağlanan hareketli ve sabit çekirdekler mevcuttur. Bir çekirdek çeşitli formlara sahip olabilir. Tek bir göz (cavity), çoklu göz içeren çekirdekler ya da farklı parçaların formlarını içeren çekirdekler olabilir.



Şekil 2.12 Çekirdeklere işlenen göz tipleri (Niebel, 1989)

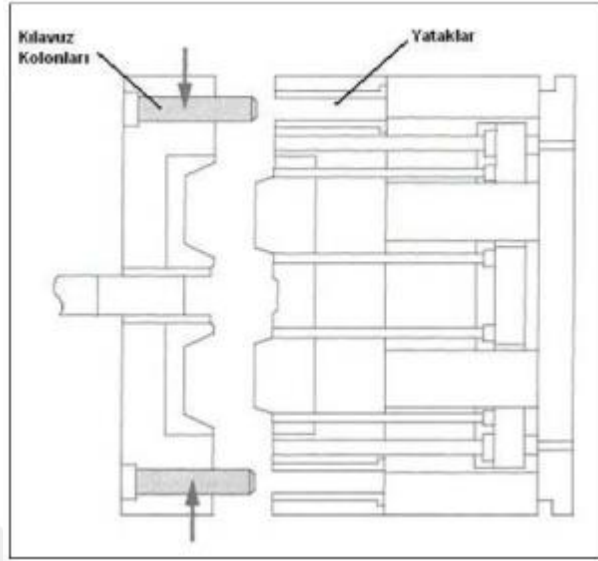
Kalıp Hamilleri: Kalıbın bütün parçalarını bulunduran ana bölümüdür. Kalıp yarımından oluşmasından dolayı kalıpta kalıp ayırım hattı yüzeyi olarak bilinen kısmı da oluşturur. Bir kalıpta sabit ve hareketli kalıp hamili olarak iki hamil bulunmaktadır (Nişancı, 2021).

Sabit kalıp yarısı sıvı metalin kalıba basıldığı enjeksiyon sistemi tarafında bulunan kalıba denir. Hareketli kalıp yarısı ise tezgâhın hareketli tarafındaki sistem sayesinde kalıbın açılıp kapanmasını yardımcı olarak üretilen parçanın kalıptan ayrılmasına yarayan kalıp yarısıdır (Niebel, 1989; Nişancı, 2021).



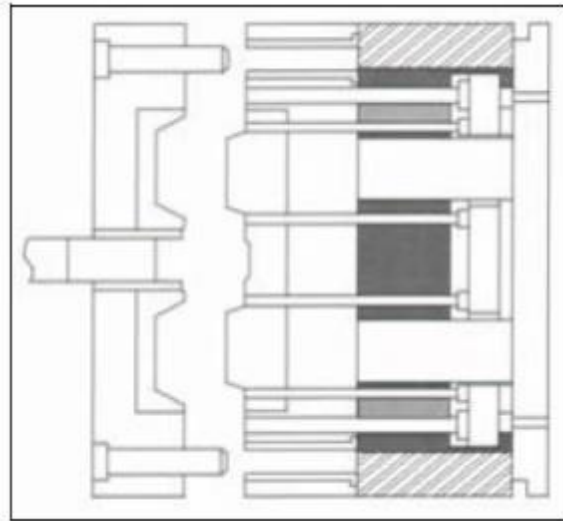
Şekil 2.13 Sabit kalıp hamili örneği (Niebel, 1989)

Kılavuz Kolonları: Kalıp yarılarını kapanma esnasında yataklamaya yarar. Kılavuz kolonları ve bunların yatakları şekil 2.14’te gösterilmiştir (Niebel, 1989; Nişancı, 2021).



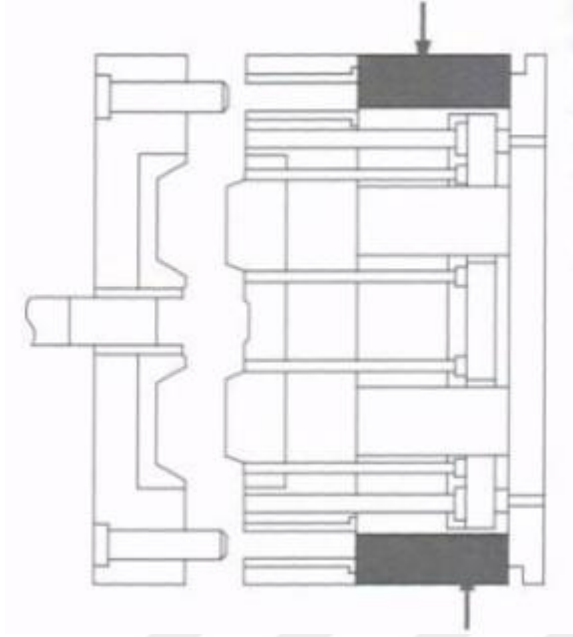
Şekil 2.14 Kılavuz kolonları ve yatakları (Niebel, 1989)

İtici Plakası: İtici sistemini üzerinde bulunduran bölümdür. (Nişancı, 2021).



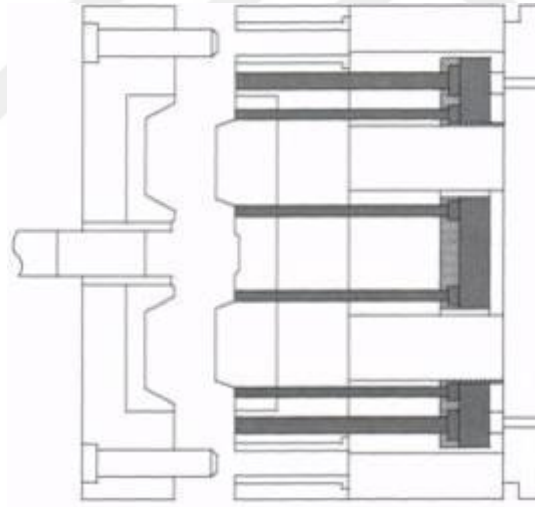
Şekil 2.15 İtici plakası (taralı kısımlar) (Niebel, 1989)

Paraleller: Paraleller hareketli hamilden makinenin hareketli tarafına kilitleme veya kilitleme plakasına ulaşmak için erişebilen elemanlardır. Genellikle AISI 1020 çeliklerinden üretilirler. Baskılara karşı yeterli sertlikte olmalıdır ve kalıbın oluşturduğu tüm kilitleme kuvvetleri bu elemanlar tarafından taşınır (Uludağ, 2007).



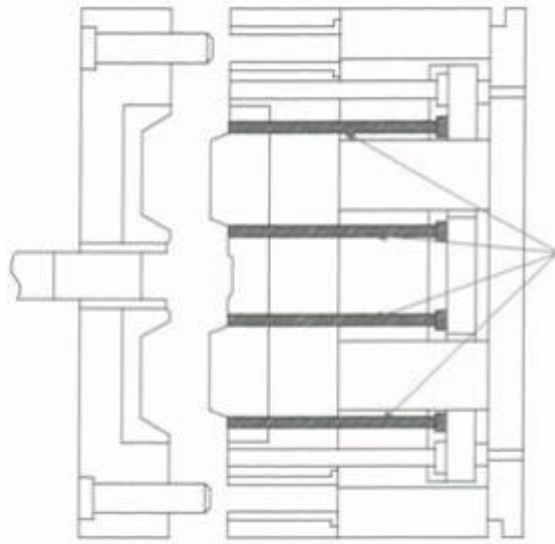
Şekil 2.16 Paraleller (Niebel, 1989)

İtici sistemi: İtici sistemi “katılaşılan metalin kalıptan çıkmasını” sağlar. İtici sistemi itici pimini ve plakaları içermektedir (Niebel, 1989).



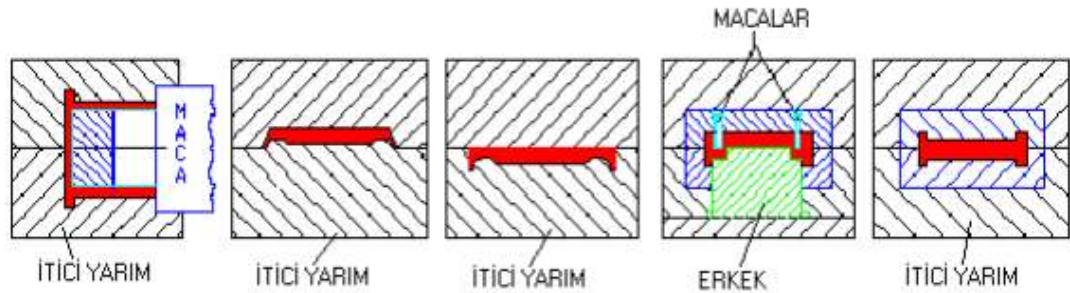
Şekil 2.17 İtici sistemi (Niebel, 1989)

İtici pimleri: İtici pimleri döküm parçayı kalıptan uzaklaştırmaya yarar. İtici pimleri itici plakasından döküm parçaya kadar uzanan elemanlardır. İtici pimleri döküm parçayı kalıptan çıkardıktan sonra parça üzerinde izler bırakır. Parça kalitesine bağlı bu izlerin yükseklikleri değişmektedir. (Uludağ, 2007).



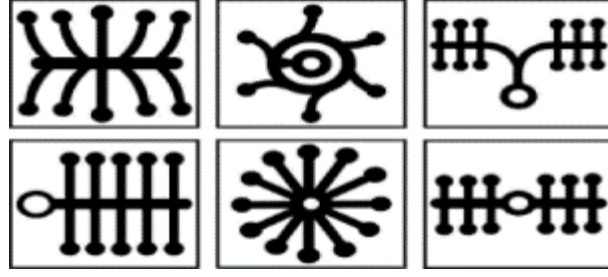
Şekil 2.18 İtici pimleri (Uludağ, 2007)

Dişi kalıplar: Dişi kalıplar iş parçası figüründe kalıp ayırma çizgisinden itibaren itici kısmına ve sabit tarafına işlenir. Bu kalıplar aynı zamanda ayrı çelik bloklardan işlenerek kalıp takımlarının iki yarısındaki yuvalarına yerleştirilmek suretiyle de kullanılabilirler (Uludağ, 2007).



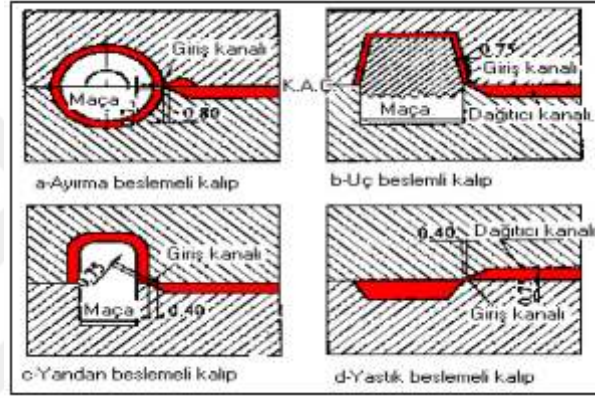
Şekil 2.19 Dişi ve maça yerleşimlerin şematik gösterimi (Uludağ, 2007)

Dağıtıcılar: Dağıtıcılar, yolluktan giren sıvı metalin, basınçlı döküm kalıbının ayırma hattından dişi kalıbın içerisine dolmasını sağlayan geçiş kanallarıdır. Genellikle derinlikleri 4.5 mm'den 8 mm'ye kadar değişebilir, genişlikleri ise iş parçasının şekline ve ağırlığına bağlı olarak belirlenir (Uludağ, 2007).



Şekil 2.20 Dağıtıcı şekilleri (Uludağ, 2007)

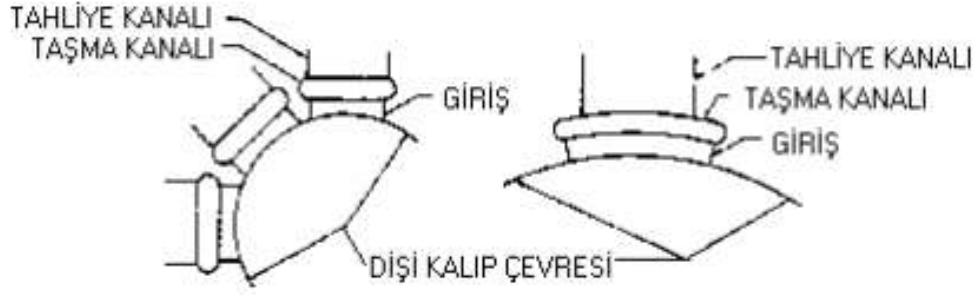
İnce kesit girişli dağıtıcılara sahip kalıplarda, iyi yüzey kalitesi elde edilmesine rağmen yoğun hacimli dökümler yapılamaz. Geniş kesit girişli dağıtıcılarda ise hem yoğun hacimli dökümler yapılabilir hem de iyi yüzey kalitesi elde edilebilmektedir (Nişancı, 2021).



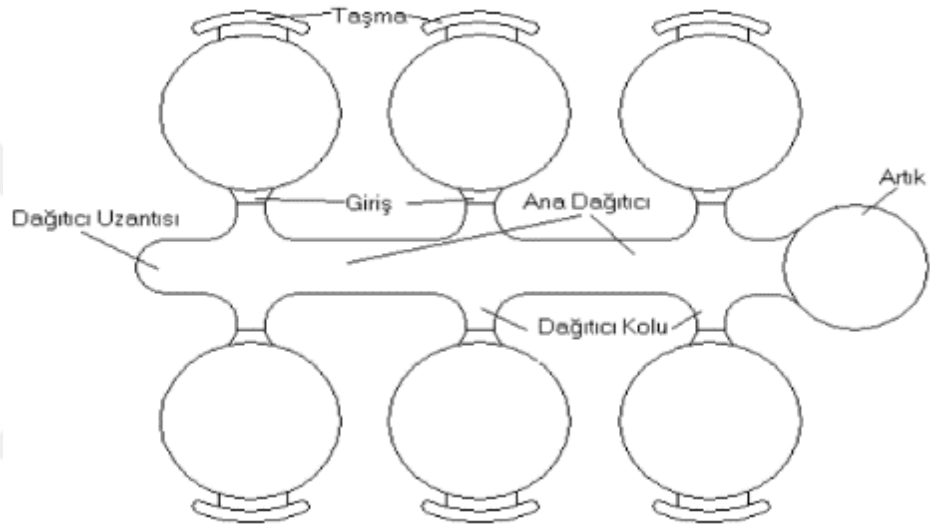
Şekil 2.21 Giriş kanallarının kalıp üzerindeki konumları (Uludağ, 2007)

Hava tahliye kanalları (Gaz çıkışları): Tahliye kanalları basınçlı döküm kalıplarda, hava ve gaz tahliyesi için gerekli olan ve kalıp ayırım hattı üzerinde işlenen detaylardır. Gaz kanalı genellikle ergiyik alaşımın havayı sıkıştıracağı konumda veya girişin zıttı tarafta açılır. (Uludağ, 2007).

Taşma kanalları: Taşma kanalları, döküm sektöründe tahliye sisteminin önemli bir parçasıdır. Doldurulması güç olan dişi kalıp detaylarında sıvı metalin akmasını kolaylaştırır (Uludağ, 2007).

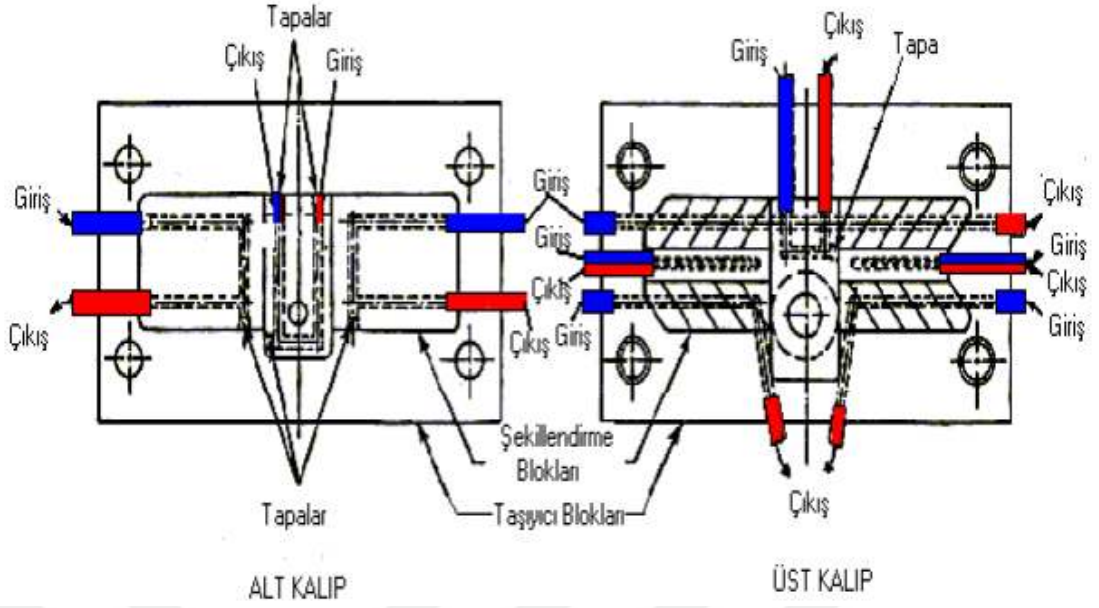


Şekil 2.22 Taşma ve tahliye kanalına örnek yerleşimi (Uludağ, 2007)



Şekil 2.23 Taşma ve tahliye kanalına örnek parça yerleşimi (Uludağ, 2007)

Soğutma Sistemleri: Basınçlı döküm tezgâhları belli zaman aralığında ve önceden tespit edilmiş sayıda parça dökülmesi için ayar yapılmış ve kalıp ısınması göz önünde bulundurulmuş olsa da kalıpların bazı bölgeleri diğer bölgelerine göre daha fazla ısınmaktadır. Bu bölgeler soğutma sıvısı kullanılarak istenilen sıcaklığa düşürülmektedir. Şekil 2.24'teki gibi soğutmayı gerektiren bölgelere soğutucu sıvı, kalıp bloğundaki delikler veya kanallarla iletilir. Delinen su deliklerinin kalıp yüzeyine 20 mm'den yakın olmaması önerilir. Aynı zamanda konstrüksiyonun izin verdiği durumlarda kanallar, maça yahut boşluk yüzeylerine 6 mm kalıncaya kadar yakın tasarlanabilir. Uygun soğutma sistemi sadece iyi yüzey kalitesi elde etmek için değil aynı zamanda iş parçasının üretilebilirliği ve kalıp ömrünün artmasına yardımcı olur (Uludağ, 2007).



Şekil 2.24 Soğutma kanallarına örnek kalıp kesiti (Uludağ, 2007)

2.3.4 Basınçlı Dökümde Kullanılan Kalıp Malzemeleri

Basınçlı döküm prosesinde kullanılan kalıp malzemesinin ve tasarımının, döküm parçasının kalitesini ve üretim sürecinin hatasız çalışmasını büyük oranda katkı sağlamaktadır. Basınç altında sıvı metalin kalıba doldurulmasından dolayı kalıp malzemesinin mekanik ve ısıl özelliklerinin döküm işlemine uygun olması gerekmektedir. Düşük ergime sıcaklığına sahip kalay, kurşun ve çinko gibi alaşımlar için düşük maliyetli ve uzun ömürlü kalıplar üretmek mümkündür. Fakat yüksek ergime sıcaklığına sahip alaşımlar için bu mümkün olmadığından özel kalıplar ile üretim yapmak daha uygun olacaktır. Basınçlı döküm kalıplarda yüksek sıcaklık ve basınç altında çalışmasından dolayı kalıpta bir süre sonra kırılma, korozyon, çökme, çatlama, erozyon ve ısıl yorulma gibi sorunlar meydana gelebilir. Bu gibi sorunlar ile en az olacak şekilde karşılaşmak için kalıp malzemelerinde olması gereken nitelikler aşağıda liste olarak belirtilmiştir;

- Isısal dayanım,
- İşlenebilirlik,
- Moleküler çatlamalara karşı sağlamlık,
- Yüksek ısı iletkenliği,
- Isı genleşme katsayısının en az olması,

- Yapısal sağlamlık ve homojenlik,
- Çalışma şartlarına uygun miktarda sertlik ve mukavemet,
- Döküm alaşım malzemesinin aşındırıcı etkisine karşı yüksek dayanıklılık.

2.3.5 Basınçlı Döküm Prosesinde Kullanılan Alaşımlar

Basınçlı döküm yöntemi ile üretilen parçalar birçok alanda kullanılmaktadır. Bu yöntemde kullanılan metallerin ve alaşımların kimyasal ve fiziki koşullara uyum sağlaması gerekmektedir. Bununla birlikte bir kullanım alanı için uygun olan bir malzeme başka bir kullanım için uygun olmayabilir. Bu sebeple malzeme seçiminde dikkat edilmesi gerekenler hususlar şunlardır (Nişancı, 2021);

- Parçanın sertliği, dayanımı ve şekil değiştirme gibi mekanik özellikleri,
- Isı altındaki dayanım özellikleri,
- Dökülebilirlik, akışkanlık, soğuma çekmesi gibi yönlerden basınçlı döküme uygunluğu,
- İşlenebilirlik,
- Polisaj, kaplama ve boyama gibi işlemlere uygunluğu,
- Korozyon dayanımı,
- Kimyasal etkilere ve aşınmaya karşı dayanımı,
- Parça ağırlığı (kullanım yerine göre),
- Parça maliyeti (kullanılan yere göre) (Nişancı, 2021).

Basınçlı döküm prosesinde kullanılan alaşımların özellikleri;

- Katılaşma işlemi belirli sıcaklıkta oluşmalıdır. Bu nedenle ötektik alaşımlar ve saf metaller basınçlı döküme elverişli değildirler.
- Eritme potasında hiçbir kristal ayrışımı olmamalıdır.
- İç detaylardaki derin figürlerin iyi dökülebilmesi için alaşımın yeterli bir akıcılığı olmalıdır.
- Hızlı soğumaya rağmen çöküntü ve iç boşluklar meydana gelmemelidir.

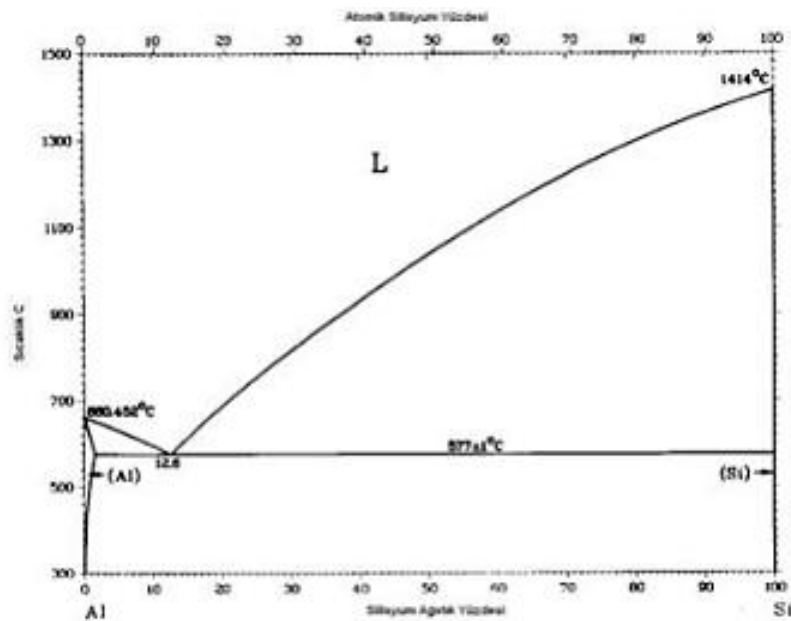
- Kalıp içerisindeki tasarım zorluklarına rağmen çatlama ve iç gerginlikler oluşmamalıdır.

Bu özellikleri göz önünde bulundurularak basınçlı döküm için uygun olan çinko, kurşun, kalay, alüminyum, magnezyum ve bakır esaslı alaşımlar arasından uygun olanının seçilmesi gerekmektedir (Uludağ, 2007).

2.3.5.1 Alüminyum ve Alaşımları

Elektrik iletkenliği, yüksek ısı, düşük yoğunluk, bazı durumlarda korozyon dayanımının olmasıyla birlikte erime sıcaklığı düşüklüğü alüminyum alaşımlarını döküm malzemeleri için uygun kılar. Döküm malzemesi olarak kullanılan alüminyum alaşımlarında genelde gözenek hatası ile karşılaşmaktadır. Hatanın ana sebeplerinden biri alüminyum alaşımlarının içinde bulunan gazların katılaşma sırasında açığa çıkmasıdır. Bu tür hataları azaltmak için elektrikli ocaklar kullanılarak, gaz giderme işlemlerini uygulamak önemlidir (Nişancı, 2021).

Basınçlı döküm ile imal edilen çok fazla alüminyum hammaddeli ürünler bulunmaktadır. Her sektör ve alanına göre özel alaşımlar geliştirilmiştir. Bu alaşımların içeriğinde %1 Fe bulunması ile parçanın demir esaslı kalıplara yapışmasını önleyerek, parçayı; gözenekli yapı probleminin en az gözlemlendiği malzemeler haline getirmektedir (Uludağ, 2007).



Şekil 2.25 Al-Si faz diyagramı (Uludağ, 2007)

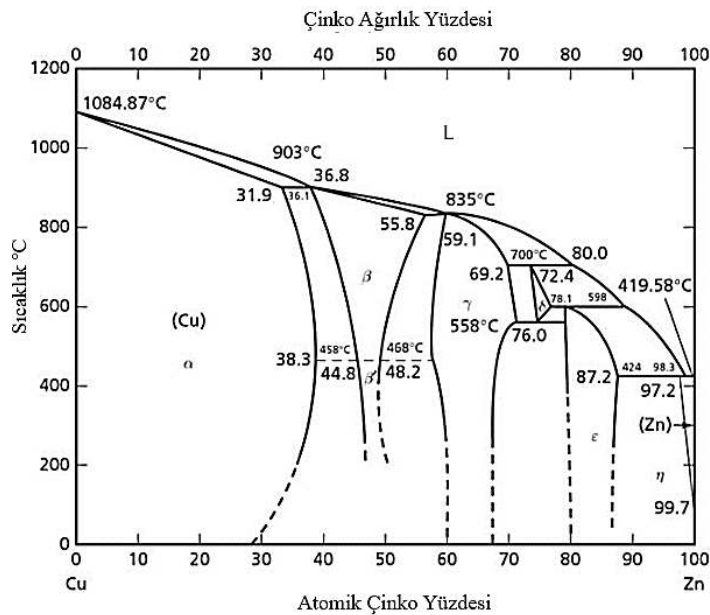
2.3.5.2 Bakır ve Alaşımları

Bakır, genellikle saf veya az oranda alaşımlaştırılmış ısı ve elektrik iletiminde kullanılır. En önemli ve yaygın kullanılanlar arasında bakır alaşımları pirinçler ve bronzlar bulunmaktadır.

Bakır ve alaşımları, sıvı veya katı yakıtlı potalı ocaklarda eritilebilirler. Ancak bakır elementi hidrojen çözünürlüğünün yüksek olması ve dolayısıyla gazlardan sıvı metalin içine gaz girmesi farklı türde hatalara neden olabilir. Elektrikli ocakların kullanılması, döküm sıcaklığının mümkün olan en düşük belirlenmesi, nemsiz bir ortam olması ve diğer önlemler ile çözüm aranmalıdır (Uludağ, 2007).

2.3.5.2.1 Pirinç Alaşımı (Bakır – Çinko)

Halk dilinde pirinç olarak bilinen bakır-çinko (Cu-Zn) alaşımları, içerisinde en az %53 bakır bulundurması ve çinko miktarının artması ile dayanım, sertlik ve kopma uzamasının artmasını aynı zamanda döküm sıcaklığının düşmesi sağlanmaktadır. Çinko seviyesinin belirli bir oranı aşması sonucunda malzeme gevrek olamaya başlar. İçerisinde %36'ya kadar çinko bulunduran α -pirinçleri plastik şekil vermeye olanak sağlamaktadır. Dökme pirinçlerde ise (α - β)-iç yapısının yüksek dayanıma sahip olması için çinko miktarı %36...43 arasında seçilebilir. Katılaşma aralığı dar olması sebebiyle pirinçlerde mikro segregasyon ve gözeneklilik tehlikesi azdır (Nişancı, 2021).



Şekil 2.26 Cu-Zn faz diyagramı (Kejzlar ve ark., 2017)

Mn, Si, Al, Fe, Pb gibi alaşım elementleri eklenerek dayanım ve korozyon özellikleri iyileştirilmiş farklı özelliklere sahip dökme pirinçler de bulunmaktadır (Uludağ, 2007).

2.3.6 Basınçlı Dökümde Meydana Gelen Hatalar

Döküm yöntemi ile üretim metal alaşımı, tasarım, kalıplama ve ergitme yönteminin birleşmesiyle oluşan birden fazla mühendislik disiplininin meydana gelmiş karmaşık bir yöntemdir. Bileşenlerin her biri dökülmesi istenen modelin döküm prosesinin tamamlanmasında farklı bir etkisi vardır. Bu gibi çok bileşenli sistemlerde sıvı metalin katılaşma durumuna göre ön görülemeyen hataların oluşması da mümkündür.

Dökümde meydana gelen hatalar hem üretimin verimini düşürmekte hem de hammadde ve enerji tüketimini arttırarak sürdürülebilirliğı dolaylı olarak etkilemektedir. Dökümde meydana gelen kusurların tamamının sebebi henüz tam olarak tespit edilebilmiş değıldir. Hataların oluşma sebeplerinin incelenmesinde parçanın yüzeydeki görüntüsüne bakılarak veya kimyasal kompozisyonu dikkate alınarak çıkarımda bulunulabilir (Kahraman ve ark.).

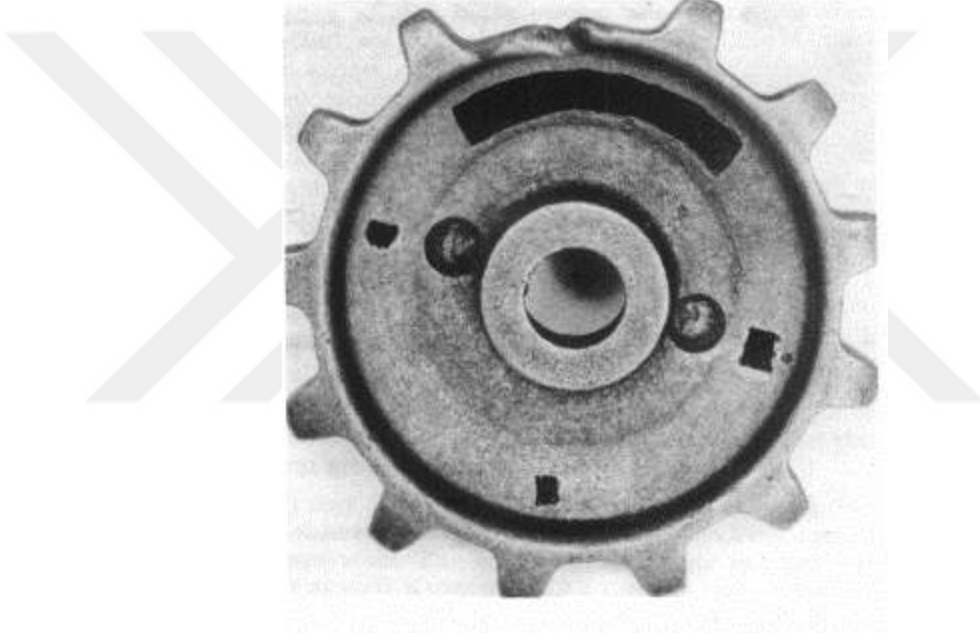
Basınçlı döküm yöntemlerinde hata oranı, modelin hacmine ve biçimine, kullanılan malzeme ile dökümde uygulanan parametrelere bağılı olarak %30 seviyelerine kadar çıkabilmektedir. Hataların oluşma nedenleri ise (Aran, 2007);

- Uygun olmayan model tasarımı ve üretimi,
- Eksik veya yanlış tasarlanan kalıp parçaları, doğıru olmayan kalıp malzemesi ve kalıplama yöntemi,
- Hatalı döküm işlemi,
- Uygun olmayan malzeme seğıimi,

2.3.6.1 Eksik ve Katmer Döküm

Eksik döküm, metalin kalıp boşluğunu tam olarak doldurmamasından kaynaklanan döküm hatasıdır. Döküm parçasının döküm yüzeyine doğıru, düzgün yuvarlak köşeli, delik şeklinde ya da bir veya daha fazla uç çıkıntı bölgelerinin sadece bir bölümünün dolmuş olması şeklinde oluşabilir.

Katmer, akış yönleri farklı olan sıvı metalin kalıp boşluğunu doldurması esnasında karşılaşp yetersiz bir şekilde kaynaşmasıyla oluşan bir hata türüdür. Farklı parça kesitleri, kesintili metal akışına neden olur. Bazı parçaların tasarımları gereği ince cidarlara sahiptirler bu nedenle uygun yolluk sistemi imkansıza yakındır. Mümkünse parça yeniden tasarlanmalı değilse karmaşık yolluk tasarımlarına başvurulmalıdır. Metal kesitleri öngörülen alan için çok incedir. Bu tarz tasarımlarda metal akış ve katılşma kurallarını göz önünde bulundurursak olumlu sonuçlanmaz. Tasarımcı kesiti kalınlaştırmalı veya diğer bir çözüm ergitme ve döküm sıcaklığını arttırmak veya sıvı metalin akışkanlığını arttırmak için kimyasal bileşimini değiştirmektir (Tüdöksan, 2014).



Şekil 2.27 Tipik bir eksik döküm hatası; bir diş tamamen eksik (Tüdöksan, 2014)

2.3.6.2 Soğuk Birleşme

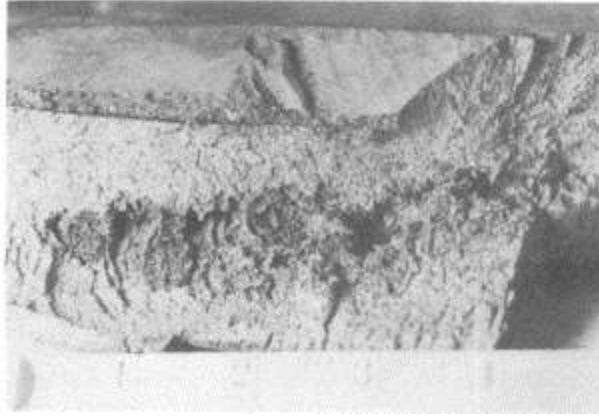
Döküm kalıbı içinde önceden katılşmış bölgelerin daha sonrasında gelen sıvı metal ile birleşmesi ve aradaki oksit katmanı sebebiyle birleşmenin tam olmadığı bölgelerde görülür. Sıvı metalin akıcılığının düşük olması, yolluk tasarımının ve sisteminin yetersiz olması, besleme hızının yetersiz olması, döküm sıcaklığı düşük olması ve cidar kalınlıklarının yeterli kalınlıkta olmaması gibi nedenler olabilmektedir(Aran, 2007).

2.3.6.3 Sıçramalar

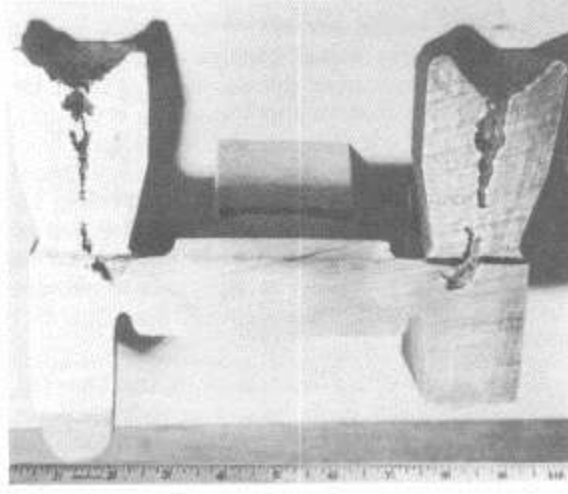
Döküm esnasında sıvı metalin sıçrayarak kalıp cidarlarına yapışıp katılması ve daha sonra kalıba dolan sıvı metal ile soğuk olarak birleşen metal parçacıklardır. Yolluk sisteminin uygun tasarımı ve kalıbın dikkatli doldurulması ile hata büyük ölçüde giderilebilir (Aran, 2007).

2.3.6.4 Çekme Boşlukları ve Çöküntüler

Çekinti boşluğu, eğrelti otu şeklinde olan ve dendrit adı verilen kristaller ile aynı sıraya dizilmiş sivri uçları olan bir delik veya süngerimsi alandır. Sıvı metalin katılması esnasında, maden ile beslenemeyen kalın cidarlarda oluşan ve çoğunlukla cidarları pürüzlü boşluklardır. Kalın kesitlerde, kesit değişiklerinde veya sıcak bölgelerde çekinti görülmesi bu hatanın karakteristik özelliğidir. Aynı bölgelerde gaz hataları ve sıcak yırtılma hatalarında görülebilir. Döküm parça yüzeyindeki çökmeler gerçek düzlemden veya kalıp yüzeyinden geri çekilmedir. Model tasarımında ani kesit değişimleri, geçiş radyuslarının çok küçük veya çok geniş olması bu gibi hatalara neden olabilmektedir (Kahraman ve ark.; Tüdöksan, 2014).



Şekil 2.28 Yeterince beslenemeyen kalın bir kesitte oluşan tipik bir çekinti boşluğu hatası (Tüdöksan, 2014)

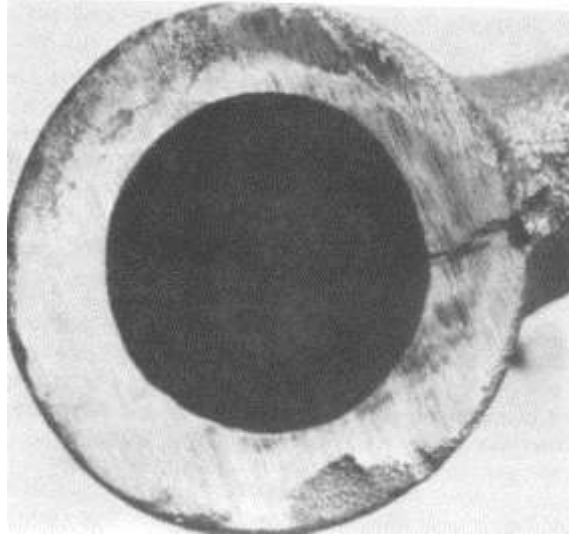


Şekil 2.29 Uygun olmayan besleyici tasarımı ile çekinki boşluğu hatası (Tüdöksan, 2014)

2.3.6.5 Sıcak Yırtılmalar

Kalıp içerisinde katılaşma tamamlanmış ancak henüz sıcak olması sebebiyle uygun dayanıma erişmeyen döküm parçası, kalıp içerisinde sıcaklık kaybederken büzülme serbestçe gerçekleşemez ve iç gerilmeler ortalaya çıkar. Dolayısıyla iç gerilmelerin olduğu kritik yerlerde sıcak yırtılmalar meydana gelir. Yırtılmış yüzey oksitlenmiş ve yüzeyi pürüzlü bir görüntüdedir. İç gerilmeler, daha düşük sıcaklıklarda soğuk çatlaklara veya çarpılmalara da neden olabilir. Çarpılmanın bir diğer nedeni ise farklı kalınlıktaki kesitlerin soğuma hızları arasındaki farklılıklardır (Aran, 2007).

Sıcak yırtılma veya çatlamanın en yaygın nedeni keskin köşelerdeki geçiş radyuslarının yetersizliği ve bunun soğuma esnasında yüksek gerilime neden olmasıdır. Ayrıca, soğuma hızında değişime yol açan kesit kalınlığındaki ani değişimlerde bu tarz hatalara yol açabilmektedir (Tüdöksan, 2014).



Şekil 2.30 Çelik dökümde yetersiz maça dağılabilirliğinin neden olduğu sıcak yırtılma (Tüdöksan, 2014)

2.3.6.6 Gaz Boşlukları

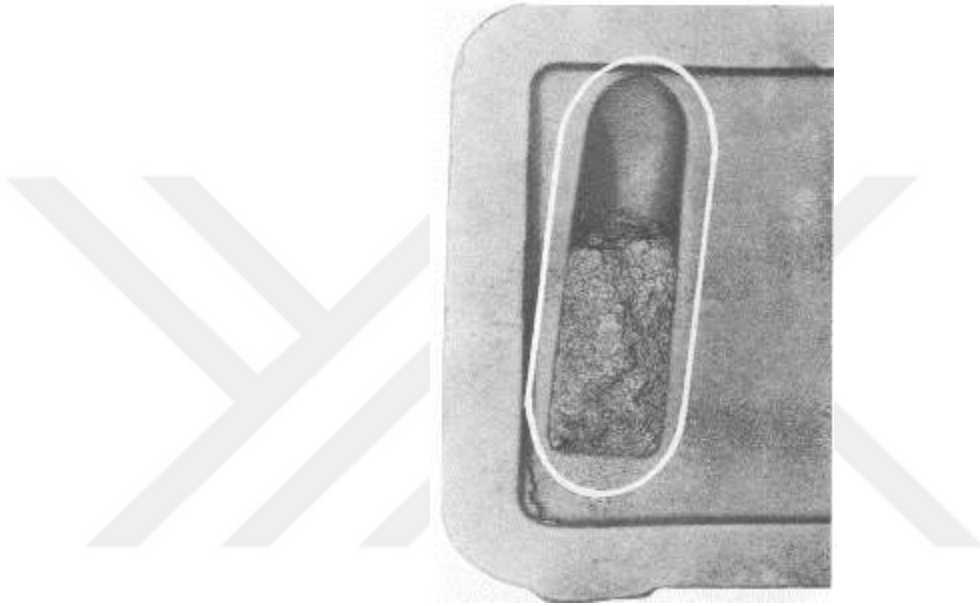
Kalıp boşluğunda önceden var olan veya sıvı metalin içinde çözünmüş gazların metalden ve kalıptan tahliye edilememesi sonucundan oluşan hata türüdür. Döküm parça içerisinde veya yüzeyinde oluşur. Bu kusurun çekme boşluğundan farkı cidarının düzgün olmasıdır. Bu kusurun başlıca nedenleri, metal içerisinde çözünmüş gaz miktarının yüksek ve kalıbın gaz geçirgenliğinin düşük olması, kalıbın içinde nem bulunması ve buhar haline geçen gazın kalıp içerisinde sıkışması, maça başları veya gaz firarı verilmesi için belirlenmiş çıkış yerlerinin yetersizliği, ayırım yüzeylerinde gaz birikmesi oluşabilir ve bu bölgelerdeki gaz çıkış deliklerinin yetersizliği olabilmektedir (Aran, 2007; Tüdöksan, 2014).



Şekil 2.31 Üst yüzeyde oluşmuş gaz boşluğu hata örneği (Tüdöksan, 2014)

2.3.6.7 Kalıp Yüzeyinde Kopmalar

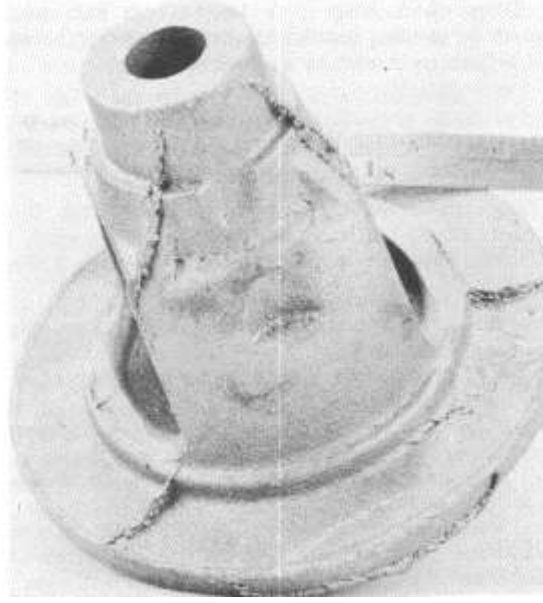
Kalıbın doldurması esnasında kalıp boşluğu yüzeyindeki erozyon sonrası ortaya çıkan veya üstte asılı duran kesitten kumun bir kısmının düşmesi ile oluşan hatalardır. Kalıp kopmaları genellikle sert hareketler ve dikkatsizliklerden kaynaklanmaktadır. Bununla birlikte parça ve model tasarımında yetersiz sıyırma açısına sahip derin cepler veya ters sıyırma açıları bu tür hataya sebebiyet verebilmektedir (Aran, 2007; Tüdöksan, 2014).



Şekil 2.32 Kalıp cebinin bir kısmının düşmesi (Tüdöksan, 2014)

2.3.6.8 Kalıp Şişmesi

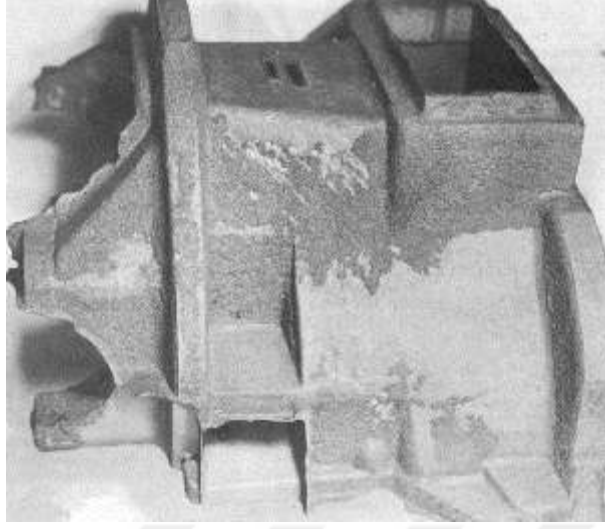
Kalıp boşluğu yüzeyindeki erozyonun akabinde, kalıbın dolum esnasında ortaya çıkan hatalardır. Bu tür kusurlar model üzerindeki büyük hatalardır (Aran, 2007; Tüdöksan, 2014).



Şekil 2.33 Tipik kalıp şişmesi (Tüdöksan, 2014)

2.3.6.9 Metal Penetrasyonu (Kum Emmesi)

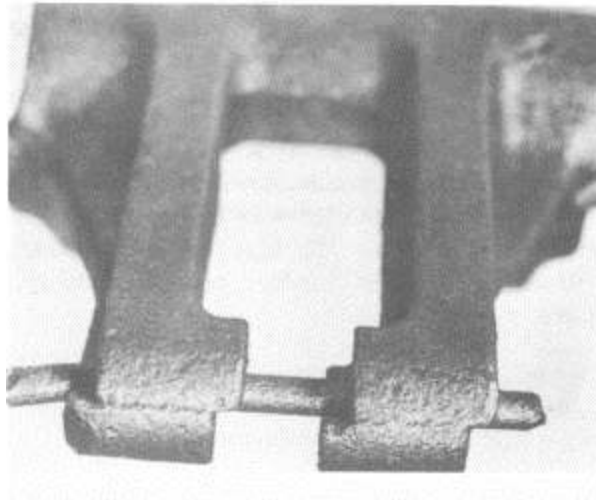
Metal penetrasyon, metal veya metal oksitlerin kum taneleri arasındaki boşluklara kum tanelerini yerlerinden oynatmadan dolarak oluşan bir hata durumudur. Hata durumunda pürüzlü bir yüzey ortaya çıkmaktadır. Kum esaslı kalıplarda sıkıştırmanın yetersiz olduğu durumlarda görülebilmektedir. Bu hata daha çok model ekipmanının eşit olmayan sıkıştırmayı doğuracak şekilde imal edilmesi, aynı model plakasında kalın ve ince cidarlı döküm parçasının birleştirilmesi durumunda sert kalıbın kum emmesi, kalıp ve maça için yetersiz gaz çıkış kanalları olması durumunda gerçekleşebilir (Aran, 2007; Tüdöksan, 2014).



Şekil 2.34 80-90 Sertliğe sıkıştırılarak yaş kum kullanılan bir kalıptan tipik bir sert kalıp kum emmesi (Tüdöksan, 2014)

2.3.6.10 Kaçıklık ve Maça Yüzmesi

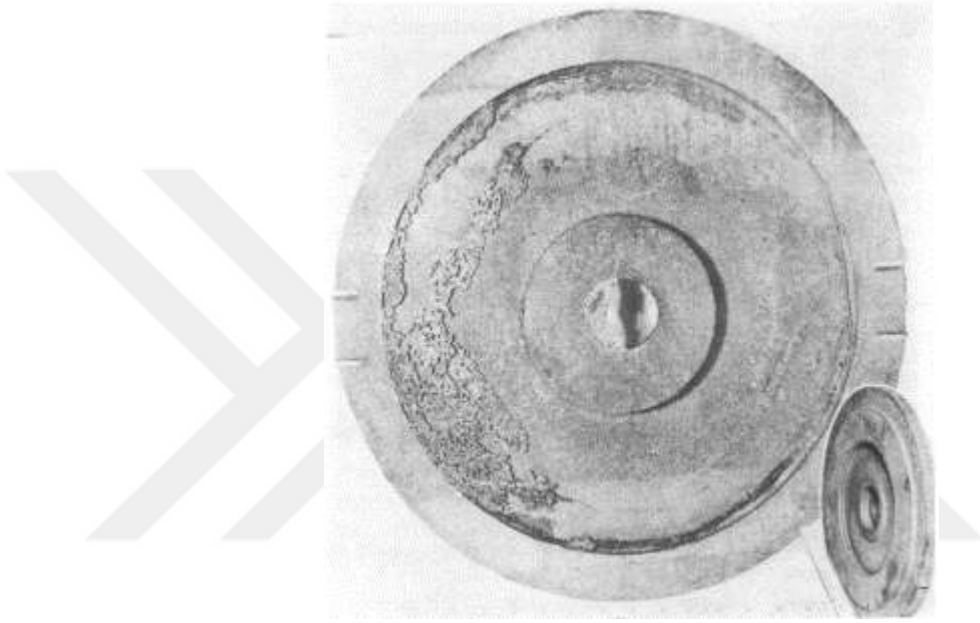
Kaçıklık, modelin kalıp ayırım yüzeyindeki uygunsuzluk veya kum maçadan çıkması gereken bir lokasyonun ölçülerinde maçaların uygun pozisyonlanamaması durumunda gerçekleşen sapmalardır. Bu hata, modellerin alt ve üst kalıplara düzgün yerleştirilmemesi, kalıbın aşınması, yetersiz bakım, merkezleyicilerin görevini icra edememesi, yetersiz veya uygunsuz maça başlarının maçanın hareketine izin vermesi gibi nedenlerden dolayı olabilmektedir (Tüdöksan, 2014).



Şekil 2.35 Alt ve üst kalıbın doğru merkezlenememesi sonucunda oluşan kaçıklık (Tüdöksan, 2014)

2.3.6.11 Kalıp Genleşmesi

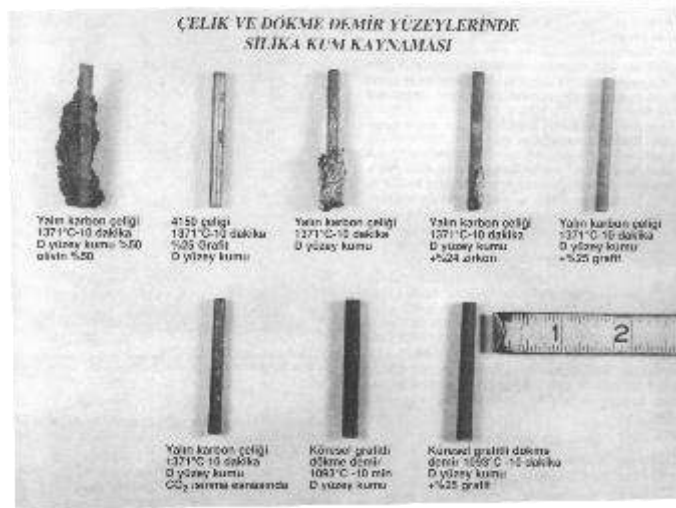
Döküm sırasında, kum kalıp yüzeyleri genleşme veya büzölmeye maruz kalmaktadır. Dolayısıyla bu hatanın sebebi kum olarak kabul edilir. Bu kusur, döküm hızını etkileyen tüm işlemlerden etkilenir. Bu hatayı engellemek için kum esaslı kalıp malzemesinin genleşme özelliklerinin uygun olması elzemdir. Genellikle tasarım esnasında geniş ve kesintisiz düz yüzeyler, yetersiz radyuslerde bu hatanın başlıca sebeplerindendir. (Aran, 2007; Tüdöksan, 2014).



Şekil 2.36 Tipik bir genleşme hatası (Tüdöksan, 2014)

2.3.6.12 Kum Taneciklerinin Yüzeye Kaynaması

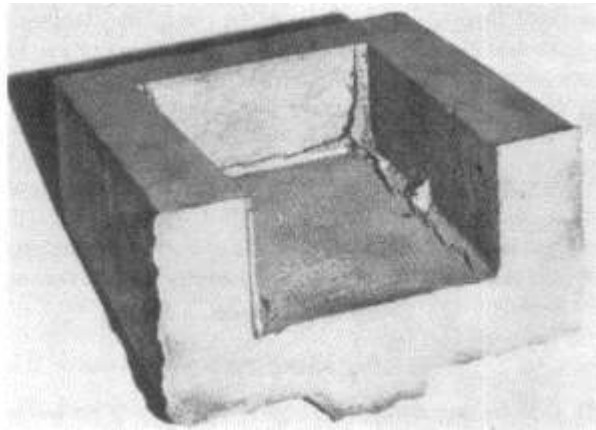
Bu tip hata döküm parçasında, döküm sıcaklığının çok yüksek sıcaklıkta seçilmesi veya kumun ısıya dayanıklılığının yetersiz olması durumunda kum taneciklerinin model parça yüzeyine kaynaması ve model yüzeyinde camsı bir görünüm olmasına neden olur. Hatanın model tasarımında kaynaklanan sebepleri ise, eşit olmayan veya düşük kalıp sıkılığı oluşturacak şekilde üretilmiş modeller, yatay bağlama yerine dikey bağlamada olduğu gibi, sıvı metal basıncını yükseltecek şekilde üretilmiş parçalar, yolluk sisteminin ve besleyicilerin doğru konumlandırılmaması durumunda kumda bölgesel aşırı ısınmalara neden olması, döküm esnasında metal oksitlenmesine neden olabilecek yanlış düşey yolluk yatay yolluk ve meme oranları şeklinde tanımlanır (Aran, 2007; Tüdöksan, 2014).



Şekil 2.37 Atmosfer, kum ve sıcaklığın kum kaynamasındaki etkisi (Tüdöksan, 2014)

2.3.6.13 Çapak

Kalıp ayırım hattı çizgisinden yeteri kadar akışkan olan sıvı metalin sızması sonu oluşur. Bu kusur, sıcak noktalar oluşturan keskin köşelerde, kalın metal kesitleri ile sarılmış ince maçalarda oluşabilmektedir (Aran, 2007; Tüdöksan, 2014).



Şekil 2.38 Çapaklanma yapan döküm parçası (Tüdöksan, 2014)

2.3.6.14 Segregasyon

Döküm parçasının iç kısımlarında bölgesel olarak kimyasal bileşim farklılıklarının oluşması durumudur. Bu hata ile katılaşma aralığının büyük, döküm sıcaklığının aşırı yüksek veya soğuma hızının yavaş olduğu durumlarda karşılaşılabılır.

2.3.6.15 Yabancı Madde

Cüruf, oksit ve kum parçacıkları gibi yabancı maddelerin sıvı metale karışmasıyla, çoğunlukla model yüzeyinde görülen hatalardır. Dökülen sıvı metalden daha düşük yoğunluğa sahip olan pislikler, çoğunlukla parçanın üst bölgesinde birikirler. Bu hata, potanın kirli olması, özensiz döküm işlemi, ayrılmış kumların kalıp boşluğuna düşmesi gibi farklı sebeplerden meydana gelebilmektedir.

2.3.7 Basınçlı Dökümde Yolluk Sistemleri

Sıvı metalin döküm kalıbının boşluğunda ilerlemesini sağlayan kanalların geneline yolluk sistemi denir. Yolluk sistemleri, iş parçasının şekli ve hacmi ile alaşımına göre farklı tasarımlarda olurlar. Potadan dökülen sıvı metal, yolluk sisteminin elemanları olan yatay ve düşey kanallardan ilerleyerek kalıbı doldurur (Megep, 2014).

Yolluk Sisteminin Görevleri

- Kalıbı tam ve eksiksiz olarak doldurmasını sağlamak,
- İstenmeyen maddelerin (cüruf oksit ve pisliklerin) kalıp içine sürüklenmesini engellemek,
- Ergiyik maddenin türbilans olmayacak şekilde kalıbı doldurmasını sağlamak,
- Ergiyik maddenin akış hızını ayarlamak,
- Soğuma ve katılaşmanın dengelenmesini sağlamak,
- Kalıp içerisindeki hava ve diğer gazların rahatça kalıptan tahliye olmasını sağlamak, sıvı metal tarafından emilmesine engel olmak,
- Kalıp işçiliğini azaltmak,
- Hammadde firesini en aza indirmek.

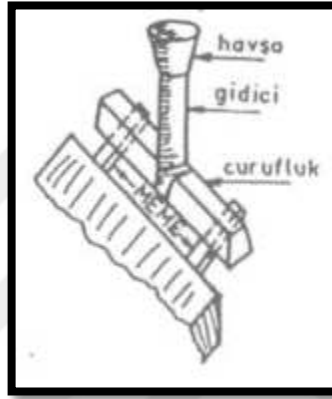
Yolluk Sisteminin Bölümleri

Yolluk sistemi 4 ana bölümden oluşur.

- ❖ Havşa
- ❖ Gidici
- ❖ Curufluk
- ❖ Meme



Şekil 2.39 Tek girişli yolluk (Megep, 2014)



Şekil 2.40 Çift girişli yolluk (Megep, 2014)

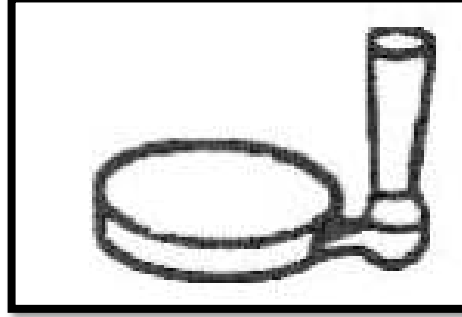
Yolluk Çeşitleri ve Özellikleri

Salkım Yolluk: Birçok küçük iş parçasının aynı derecede üretilmesini sağlar. Tek memeli veya ihtiyaca göre birden fazla meme ile tasarlanabilir (Şekil 2.41) (Megep, 2014).



Şekil 2.41 Salkım yolluk (Megep, 2014)

Tek Memeli Yolluk: Tek bir iş parçası olarak dökülen ve sıcaklık dağılımının göz ardı edildiği küçük yapıdaki parçaların üretiminde kullanılır. Düşük işçiliği en büyük avantajıdır (Şekil 2.42) (Megep, 2014).



Şekil 2.42 Tek memeli yolluk (Megep, 2014)

Kenar Yolluk: Genellikle ince kesitli iş parçalarının dökümünde kullanılır. İnce ve homojen tasarımından kaynaklı sıcak bölgeler oluşmaz. (Şekil 2.43) (Megep, 2014).



Şekil 2.43 Kenar yolluk (Megep, 2014)

Çok Memeli Yolluk: Büyük hacimli kalıplarda doldurma probleminden dolayı az sayıda meme ile doldurulamayan kalıplarda uygulanır. Ayrıca kalıpta sıcaklık dağılımını homojen şekilde tutar (Şekil 2.44) (Megep, 2014).



Şekil 2.44 Çok memeli yolluk (Megep, 2014)

Teğet Yolluk: Yuvarlak şekilli iş parçalarında kullanılmaktadır. Sıvı metalin tek yönde ilerletilmesiyle kalıp içerisinde malzemenin çarpışması önlenir. Yolluk parçaya dik olarak bağlanırsa, ergiyik maddenin akışı iki yönde olacak ve karşı tarafta ortada çarpışarak kalıp içinde türbülansa yol açabilecekti (Şekil 2.45) (Megep, 2014).



Şekil 2.45 Teğet yolluk (Megep, 2014)

Yolluk Hesaplamaları

Yolluk sistemlerinde hesaplama, ilk olarak dökülecek iş parçasının hacminin hesaplanmasıyla başlanır. Ardından memelerin hesaplamaları yapılır ve belirli kat sayılar ile çarpılarak cürufuk ve gidicilerin ölçüleri belirlenir (Megep, 2014).

$$A = \frac{K.G}{T} \quad (2.1)$$

$$T = \frac{G}{u} \quad (2.2)$$

Buradan;

A= Meme kesitlerinin toplam alanı (cm^2)

K= Yolluk yüksekliğine bağlı katsayı, cetvelden alınır. Seçiminde yolluk veya derece yüksekliğine (5) cm eklenerek tablo 2.2’de bulunan sayının karşısındaki değer alınır.

G= Dökülen parçanın yolluk, çıkıcı ve besleyicileri ile beraber yaklaşık ağırlığı.

T = Döküm süresi; kalıba bir saniyede girecek ergiyik maddenin miktarına (u) bölümü ile elde edilir.

u = Kalıba bir saniyede giren sıvı metalin miktarıdır. Birimi kg/sn dir. Parça ağırlığına göre cetvelden alınır.

Bu işlem sırası ile meme kesitlerinin toplam alanı tayin edilir. Eğer meme sayısı birden fazla ise bulunan kesit alanı meme sayısına bölünmelidir. Memenin geometrik şekline göre ölçüleri hesaplanarak bulunmalıdır. Cürufiğun kesit alanı, memelerin kesitleri toplamından %20 büyük alınmalıdır. Yolluklarda meme kesitleri, dökülen parçanın ağırlığına ve yolluk sisteminin yüksekliğine bağlıdır ve aşağıdaki yöntem ile hesaplanır (Megep, 2014).

Gidicinin kesiti, cürufuk kesitinin % 20 büyütülmesi ile elde edilir.

$$A_2 = A_1 + 0,2 \times A_1 = 1,2 A_1 \quad (2.3)$$

Formülle, gidicinin cürufuk ile birleştiği dip kesiti hesaplamaktadır. Buradan yola çıkarak kesit alanına göre gidicinin çapı hesaplanmış olur. Bu şekilde basınçlı yolluğun bütün ölçüleri hesaplanmış olur. Tablo 2.1’de (u) değerleri tablo 2.2’de ise (k) kat sayısının verilmiştir (Megep, 2014).

Tablo 2.1 Parçanın ağırlığına göre döküm hızı (Megep, 2014)

Ağırlık (kg)	Hız (u) kg/sn
0-14	1,36
11-22,5	1,8
22,5-45	2,25
45-110	2,7-3,6
110-225	4,53-6,8

Tablo 2.2 K katsayısı değerleri (Megep, 2014)

Üst derece yüksekliği veya dik yolluk +5 cm	Katsayı (K)
10	2,632
12,5	2,305
15	2,091
18	1,949
20	1,821
23	1,707
25,5	1,636
28	1,565
28	1,565
30,5	1,434
33	1,437
35,5	1,394
38	1,351
40,5	1,309
43	1,266

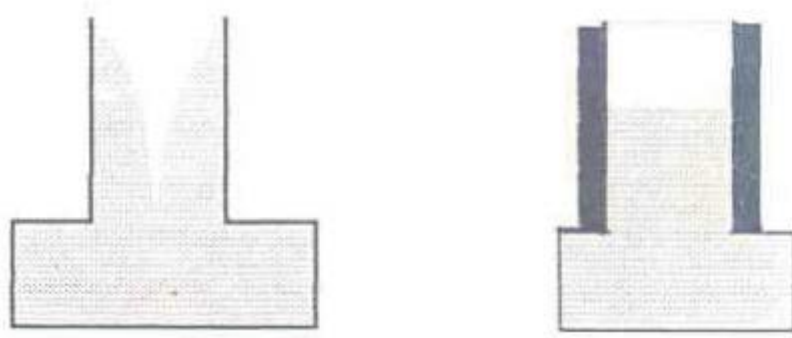
2.3.8 Besleyici Tasarımı

Sağlam bir döküm elde edebilmek için besleyici tasarımı çok önemlidir. Bir döküm parçası üretiminde, besleyiciler şu temel koşulları yerine getirmelidir.

- Besleyiciler, mutlaka iş parçasından sonra katılmalıdır.
- Besleyiciler, döküm parçasının çekilmesini karşılayacak kadar sıvı metal kapasitesine sahip olmalıdır.
- Besleyici tasarımında, besleyici sayısı, besleyici boyutu ve kesilme maliyeti minimum olmalıdır.
- Besleyiciler, besleme mesafesi kurallarına uygun ve yönlenmiş katılaşmayı temin edecek şekilde tasarlanmalıdır.

Yönlenmiş bir katılaşmayı temin etmek, metal alaşımı ve katılaşma şekline, kalıp şartlarına ve döküm tasarımına bağlıdır. Sıvı metalin kalıp boşluğuna dolmasıyla, katılaşma, kalıp duvarlarından başlamakta ve içe doğru ilerlemekte, katı bir metal kabuk oluşturmaktadır. Isı kalıp duvarlarından uzaklaştıkça, kabuk içeriye doğru kalınlaşmaktadır. Döküm kenarında, daha büyük yüzey alanı, kalıba daha hızlı ısı transferine olanak sağlarken, katılaşma hızı da yüksek olmaktadır. Kenar veya uç etkisi ve besleyici etkisinin kombinasyonu yönlenmiş katılaşmayı temin etmektedir (Candeğer, 2001).

Dökülecek parçanın kalıplandığı malzeme (genellikle silis kumu – kara kum) ile besleyicilerin kalıplandığı malzeme aynı ise bu besleyiciler doğal besleyiciler veya soğuk besleyiciler olarak bilinirler ve geleneksel dökümhanelerde sıkça uygulanır. Bu tip uygulamalarda, kalıp ve besleyici sıvı metalle dolar dolmaz, katılaşma, kalıp ve besleyici yüzeylerinden başlar, besleyici ise hem kendi hem de dökülecek parçanın çekmesini karşılar. Sıvı metalin ısısı, hızla kalıp duvarlarından, besleyicinin yan duvarlarında ve üstten çıkar (Candeğer, 2001).



Şekil 2.46 Çelik dökümlerde doğal besleyicilerin ve besleyici gömlek kullanılmış besleyicilerin karakteristik görüntüleri (Candeğer, 2001)

Şekil 2.46'daki koni görünümünde olan bu çekme boşluğu, başlangıç hacmine göre yaklaşık %14-15'tir. Bu çekme boşluğunun bir kısmının da besleyicinin katılaşma sırasında kendisi tarafından kullanıldığı da unutulmamalıdır. Bu göz önüne alındığında, başlangıç hacminin yaklaşık %10'unu beslemede kullanmaktadır.

Besleyici Boyutlarının Hesaplanması

Günümüzde, besleyici boyutlarının hesaplanması için çok gelişmiş döküm simülasyon programları mevcuttur. Buna rağmen modül yöntemi, besleyici boyutlarını ve sayısını belirlemek için kullanılan yaygın ve pratik bir yöntemdir (Candeğer, 2001).

Chvorinov bağıntısı;

$$t = k\left(\frac{V}{A}\right)^2 \text{ burada,} \quad (2.4)$$

t= toplam katılma süresi

V= Döküm hacmi

A= Döküm yüzey alanı

Hacim / Yüzey alanı oranı modüldür.

Modül (M) = Dökülecek parçanın hacmi (V) / Dökülecek parçanın soğuma yüzey alanı (A)

$$\text{Buradan, } t = kM^2 \text{ bulunur.} \quad (2.5)$$

Bu oran geometrik modül veya döküm parçasının modülü M_d olarak adlandırılır ve birimi cm'dir. Modül geometrik bir şeklin ne kadar sürede katılşmayı sürdüreceğini belirler. Başka bir değişle modül şekle göre ısıyı tutma kapasitesidir. Bu bağlamda besleyici parçasının modülünün döküm parçasının modülünden yüksek olması beklenir. Besleyici boyutu hesaplanırken, dökümcüler, döküm parçasının katılşmasından ziyade besleyicinin katılşma süresinin daha uzun olmasını isterler (Candeğer, 2001). Buna istinaden;

$$\text{Besleyici modülü } M_b = 1.2 \times M_d \text{ olarak hesaplanır.} \quad (2.6)$$

Besleme İhtiyacının Tesbiti

Besleme için sıvı metal hacminin hesaplanması;

a- Besleyici içinde döküm parçasını besleyecek sıvı metalin, toplam besleyici metale (başlangıç hacmi) oranı olarak ifade edilir. Bu oran;

- Besleyici gömlek uygulamalarında %33,
- Kum besleyicilerle döküm uygulamalarında %16,
- Doğal besleyicilerle döküm uygulamalarında %10-14'tür.

b- Metal alaşımlarının çekme oranı % çekme olarak ifade edilir ve bu değer tablo 2.3'de verilmiştir.

Tablo 2.3 Metal alaşımı çekme oranları (Candeger, 2001)

Metal alaşımı	% Çekme Oranı
Karbon Çelikleri	6.0
Alaşımlı Çelikler	9.0
Yüksek Alaşımlı Çelikler	10.0
Temper dökme demirler	5.0
Alüminyum	8.0
Bakır	4.0
Pirinç	6.5
Bronz	7.5
Al-bronzları	4.0
Sn-bronzları	4.5

c- besleyici içinde bulunan metalin ağırlığı W_{bes} , bu besleyicinin beslediği esas döküm parçasının ağırlığı $W_{döküm}$;

$$W_{döküm} = \frac{C}{100} \times \frac{W_{bes} \times 100}{S} \quad (2.7)$$

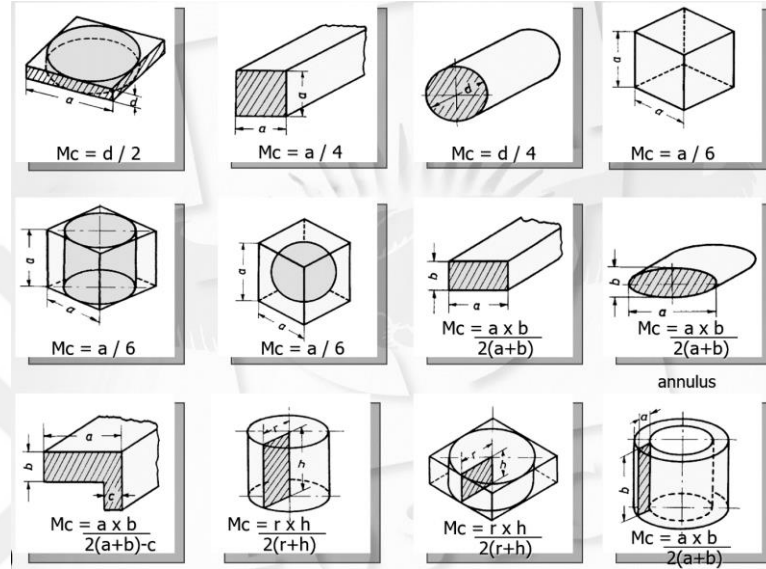
Burada S = Nihai çekme değeridir.

Besleyicilerin boyun kısmının boyutları hesaplanırken, üst besleyicilerin boynunu hesaplamaya gerek yoktur. Fakat besleyici gömlek uygulamalarında kırıcı maça

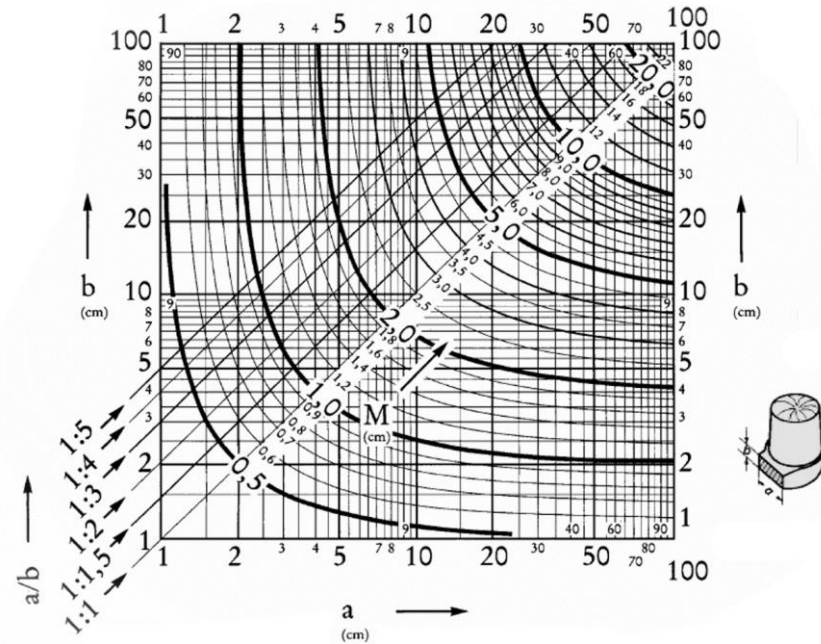
kullanmak faydalıdır. Yan besleyicilerde ise, besleyici boynu boyutları, boyun modülüne aşağıdaki oranların uygulaması ile elde edilir.

$$M_{döküm} : M_{boyun} : M_{bes} = 1.0 : 1.1 : 1.2 \text{ olmalıdır.} \quad (2.8)$$

M_{boyun} (boyun modülü) ile ilgili şekil 2.47’de geometrik görsellerden ve şekil 2.48’deki grafikten yardım alınarak hesaplanabilir.



Şekil 2.47 Besleyici boynu geometrik şekilleri ve modül hesabı



Şekil 2.48 Besleyici boyun modülü hesaplama grafiği (Candeğer, 2001)

2.4 Döküm Prosesini Etkileyen Tasarım Parametrelerinin Simülasyonu ve Literatürde Yapılan Çalışmalar

- Lokeswar Patnaik ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilen, ‘Die casting parameters and simulations for crankcase of automobile using *MAGMASOFT*[®]’ isimli çalışmada, yüksek basınçlı döküm (HPDC)'nin gerekli tasarım parametreleri değerlendirilerek bir otomobilin krank kutusu için bir HPDC kalıbı geliştirmenin adım adım yöntemi gösterilmiştir. Kalıp, eriyik olarak Al-Si-Cu alaşımından tasarlanmıştır. Simülasyonlar, doldurma sıcaklığı, doldurma süresi, katılaşma, hava basıncı ve sıkışmayı tahmin etmek ve son olarak soğutma düzeninin değerlendirilmesi için *MAGMASOFT*[®] kullanılarak yapılmıştır. Kalıp boşluğunda daha az doldurma süresi ve daha düşük hava basıncı sağlamak için küçük değişiklikler yapılmıştır (Patnaik ve ark., 2020).
- S. Aravind ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilen ‘Numerical and experimental approach to eliminate defects in Al alloy pump-crank case processed through gravity die casting route’ isimli çalışmada, katılaşma nedeniyle oluşan çekme, çatlaklar, kusurlu kalıp boşlukları ve yükseltici seviyesi sorunları gibi kusurları ortadan kaldırmak için bilgisayar tabanlı döküm simülasyon yazılımı yardımıyla sayısal bir inceleme yapılmıştır. Simülasyon sonucuna göre yapılan modifikasyonlara göre elde edilen döküm sıfır hata göstermiştir (Aravind ve ark., 2020).
- P.W. Cleary ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilen ‘3D SPH flow predictions and validation for high pressure die casting of automotive components’ isimli çalışmada, düzleştirilmiş parçacık hidrodinamiği hesaplama yöntemi ve *MAGMASOFT*[®] programının çözümünü karşılaştırmıştır. Düzleştirilmiş parçacık hidrodinamiği (Smoothed particle hydrodynamics) SPH, katı mekaniği ve sıvı akışları gibi sürekli ortamın mekaniğini simüle etmek için kullanılan bir hesaplama yöntemidir (Cleary ve ark., 2006).

- M. Wu, J. Tinschert ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilen ‘Application of laser measuring, numerical simulation and rapid prototyping to titanium dental castings’ isimli çalışmada, hassas döküm işlemi için lazer ölçüm, sayısal simülasyon ve hızlı prototip (RP) mum model üretimini entegre ederek titanyum diş kronları yapma yöntemini açıklamaktadır. Yöntemler, dört gerçek diş kronu, 3D lazer tarama ile ölçülmüştür. Döküm sürecini simüle etmek, yolluk ve yolluk sistemi tasarımını optimize etmek için ticari yazılım *MAGMASOFT*® kullanıldı (Wu ve ark., 2001).
- Mohamad El Mehtedi ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilen ‘Design optimization of gate system on high pressure die casting of AlSi13Fe alloy by means of finite element simulations’ isimli çalışmada, gerçekte AA3004 (Alüminyum alaşımı) sacdan şekillendirilmiş G-AlSi13Fe alüminyum alaşımından ince bir panel bileşenin kapılarını ve yolluk tasarımını optimize etmek için ticari bir yazılım kullanılarak simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Kapının boyutunu, doğru konumlandırılmasını ve yolluk sistemi tasarımını belirlemek için dolum analizi kullanılmıştır (Mehtedi ve ark., 2020).
- Si- Young Sung ve Young-Jig Kim tarafından gerçekleştirilen ‘Modeling of titanium aluminides turbo-charger casting’ isimli çalışmada, Titanyum alüminit (TiAl) turbo şarj cihazının dökülebilirliği, çeşitli döküm parametreleri ile incelenmiştir. TiAl alaşımlarının akışkanlığı kalıp ön ısıtma sıcaklığı ve merkezkaç kuvveti ile artmıştır. Döküm işlemiyle tahmin edilen termo-fiziksel değişkenler, *MAGMASOFT*® kullanılarak TiAl turbo şarjlı dökümün modellenmesine uygulandı. Gerçek döküm işlemi durumunda, erimiş TiAl alaşımının düşük akışkanlığından dolayı pek çok yanlış çalışma ve soğuk duruş vardı. Bununla birlikte, modellemede, turboşarj hem eğrilik hem de ince duvar parçalarına sahip olsa bile erimiş TiAl alaşımları asla durmaz. Bu nedenle, modelleme sürecinde hatalı çalışma ve soğuk kapama gibi önemli kusurlar olmamıştır (Sung ve ark., 2007).
- Priyanka Vispute ve Digamvar Chaudhari tarafından gerçekleştirilen ‘Utilizing Flow Simulation in the Design Phase of a Casting Die to Optimize Design Parameters and Defect Analysis’ çalışmada esas olarak alüminyum alaşımından (AIDC12) yapılmış bir otomobil bileşeni için kalıbın tasarım aşamasına odaklanmaktadır. Döküm kalıbı için tasarım aşaması, geçit alanı,

geçit hızı, hava menfezlerinin konumu ve ayrıca dökümdeki kusurların doğası gibi tasarım parametrelerinin ayırık seçimini içerir. Bu sonuç, geçit alanındaki malzemenin hızını gösterir. Standarda göre değer 60 m/sn'den fazla ise kalıbın aşınması daha fazla olacaktır. Şekil 4.(a)'daki sonuç kapı hızının yaklaşık 60m/sn olduğunu göstermektedir. Şekil 4.(b)'den, kapı alanını artırarak ve 2. faz hızını azaltarak, kalıp erozyonuna yol açmayacak yaklaşık 41 m/sn'lik bir kapı hızı elde ettik. Bu sonuç, boşluktaki akış sırasında malzemenin sıcaklığını gösterir. Bu değer 600 dereceden az ise, bu durum soğuk kapanmaya ve dolmamaya yol açacaktır. Şekil 5.(a)'dan, Düşük başlangıç metal sıcaklığından dolayı malzeme sıcaklığı son dolumda 600 derecenin altına düşerek formasyona yol açabilir Şekil 5.(b)'den, sıcaklık değeri 650 derecenin üzerinde olduğu için soğuk kapama oluşumu sorunu olmayacaktır. Böylece 680 derece metal sıcaklığı kesinleşir (Vispute ve ark., 2017).

- I.Rajkumar N. Rajini tarafından gerçekleştirilen ‘Metal casting modeling software for small scale enterprises to improve efficacy and accuracy’ isimli çalışmada, metal döküm işlemlerinin modelleme ve simülasyon tekniklerini birkaç ilgili vaka çalışmasıyla ilgili olarak tartışmayı amaçlamaktadır. Sonuç olarak, döküm süreçlerindeki simülasyonlar oldukça gelişmiştir ve dökümlerin dayanıklılığını tahmin etmek için simülasyon tekniklerinde daha fazla gelişmeye ihtiyaç duyulmaktadır (Rajkumar ve ark., 2021).

- Z. Guo ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilen ‘Material properties for process simulation’ isimli çalışmada, malzeme özellik modellemesindeki son gelişmeleri ve işleme simülasyonundaki uygulamalarını gözden geçirmektedir. Katılma özellikleri ve yüksek sıcaklık gerilim-gerinim eğrileri gibi proses simülasyonunun ihtiyaç duyduğu birçok malzeme özelliği artık kolayca sağlanabilir. Katılma özellikleri, bir alaşımın spesifikasyon aralığı içindeki bileşimdeki değişikliklerden etkilenir; özelliklerdeki bu tür değişiklikler döküm simülasyonu sonuçlarını etkiler (Guo ve ark., 2009).
- Chul Kyı Jin ve Chung Gil Kang tarafından gerçekleştirilen ‘Fabrication by vacuum die casting and simulation of aluminum bipolar plates with micro-channels on both sides for proton Exchange membrane (PEM) fuel cells’ isimli çalışmada, proton değişim membranı (PEM) yakıt hücreleri için her iki tarafında mikro kanallara sahip alüminyum çift kutuplu plakaların vakumlu kalıp dökümü ve simülasyonu ile imalatı yapılmıştır. Çeşitli deneysel koşullar altında üretilen numunelerin şekillendirilebilirliği, mekanik özellikleri ve mikro yapıları erimiş metal sıcaklığı, enjeksiyon hızı ve vakum yardımı araştırılır ve deney ve simülasyon sonuçları karşılaştırılır (Jin ve ark., 2012).
- Uday A. Dabade ve Rahul C. Bhedasgaonkar tarafından gerçekleştirilen ‘Casting Defect Analysis Using Design of Experiments (DoE) and Computer Aided Casting Simulation Technique’ bu çalışmada, yaş kuma dökümde, kum ve yöntem ile ilgili hatasız analiz için deney tasarımı ve bilgisayar destekli döküm simülasyon teknikleri birleştirilmiştir. Seçilen sfero döküm bileşeninin yaş kum döküm işleminin kalıplama kumu ve kalıba ilişkin işlem parametrelerinin optimum ayarlarını elde etmek için bir girişimde bulunulmuştur. Döküm bileşenindeki büzülme gözeneklerinin seviyesini ve yoğunluğunu azaltmak için kalıp doldurma ve katılma analizi için döküm simülasyon yazılımı kullanılarak iterasyon sayısı gerçekleştirildi. Yeni yolluk ve besleme sistemi tasarımı ile büzülme gözenekliliğinde azalma (yaklaşık %15) ve verimde iyileşme (yaklaşık %5) gözlemlenmiştir (Dabade ve ark., 2013).

- Jean Kor ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilen ‘Casting Design Through Multi-Objective Optimization’ isimli çalışmada, yolluk ve yükseltici sistem tasarımı, bir metal dökümün kalitesinde ve maliyetinde önemli bir rol oynar. İzlenecek sabit teorik prosedürlerin olmaması nedeniyle, tasarım süreci deneme yanılma esasına göre gerçekleştirilir. Döküm tasarımı optimizasyon problemi, çoklu tasarım değişkenleri, çelişen hedefler ve karmaşık bir arama alanı ile karakterize edilir ve bu da onu hassasiyete dayalı optimizasyon için uygun hale getirmez. Bu çalışmada, bu tür karmaşıklıkların üstesinden gelmek için Çok Amaçlı Evrim Algoritması (MOEA) kullanan resmi bir optimizasyon yöntemi geliştirilmiştir. Tasarım değerlendirmesi için optimizasyon prosedürünü sayısal simülasyonla entegre etmeye yönelik bir çerçeve sunulmaktadır. Bir kum dökümün yolluk ve yükseltici sistemine uygulanan önerilen optimizasyon çerçevesi iyi sonuçlar verdi ve karar vermede daha fazla esneklik sağladı (Kor ve ark., 2011).
- Alan A. Luo ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilen ‘Alloy development and process innovations for light metals casting’ isimli çalışmada, akış ve katılaşma simülasyonları, kusurların (gözeneklilik, büzülme, oksitler, inklüzyonlar vb.) meydana gelme olasılığı en yüksek olan bir dökümde son katılan alanlardaki "sıcak noktaları" vurgulayabilir. Ticari döküm simülasyon paketleri, genel kusurlar (örneğin, büzülme gözenekliliği) için makul tahminler sağlayabilirken, HPDC işleminde hapsolmuş hava ve yerçekimi dökümündeki oksitler gibi belirli kusurları tahmin etmek için hala daha sağlam modellere ihtiyaç vardır. Ek olarak, gerilimle ilgili döküm kusurları (örn. Sıcak yırtılma), mekanik tabanlı modeller kullanılarak da tahmin edilebilir, ancak daha az kesinlik ile. Sıcak yırtılma tahmininin doğruluğunu ve sağlamlığını geliştirmek için yarı katı alaşımları tanımlayan daha doğru yapısal modellere ihtiyaç vardır (Luo ve ark., 2022).
- Hyung-Yoon Seo ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilen ‘A study on the S/W application for a riser design process for fabricating axisymmetric large offshore structures by using a sand-casting process’ isimli çalışmada, iki tip yolluk ve besleme sistemi önerilmiştir: alt L tipi bağlantı noktaları ve üst L tipi bağlantı noktası. Ek olarak, katılaşma süresi, büzülme gözenekleri, soğutma sisteminin ürüne ağırlık yüzdesi, sıcak nokta ve katılaşma süresi oranı ($\frac{1}{4}$ Besleyicinin katılaşma süresi/ürünün katılaşma süresi) gibi katılaşma

davranışları, ticari döküm simülasyon yazılımı kullanılarak kapsamlı bir şekilde analiz edilir. Katılma davranışlarına bağlı olarak, döküm kusurlarını azaltmak ve geri kazanım oranını artırmak için taşıyıcı muhafazanın imalatı için kum döküm işleminde makul kalıp tasarımı, besleme sistemi, kritik besleyici ısıtma sıcaklığı ve katılma süresi oranları önerilmiştir (Seo ve ark., 2019).

- B. H. Hu ve arkadaşları tarafından yapılan ‘Design and optimisation of runner and gating systems for the die casting of thin-walled magnesium telecommunication parts through numerical simulation’ isimli çalışmada, iyi tasarlanmış yolluk ve yolluk sistemi, homojen bir kalıp doldurma modeli sağlayarak kaliteli basınçlı dökümleri güvence altına almak için çok önemlidir. Sayısal bir simülasyon, kalıp doldurma sürecini görsel olarak analiz etmek için yolluk ve yolluk sistemlerinin tasarımında uygun maliyetli bir araçtır. İnce cidarlı bir magnezyum telekomünikasyon parçası, sıcak kamara (Sıcak Hazneli Basınçlı Döküm Makineleri) dökümü olarak seçildi ve koşucu ve yolluğun optimizasyonu için sayısal bir simülasyon tekniği uygulandı. İki tip yolluk ve yolluk sistemi tasarlanmış ve analiz edilmiştir (Hu ve ark., 2000).
- Jingying Sun ve arkadaşları tarafından yapılan ‘Gas entrainment behavior of aluminum alloy engine crankcases during the low-pressure-die-casting process’ isimli çalışmada, Düşük Basınçlı Döküm (LPDC) ile üretilen motor krank karterlerinin üst yüzündeki gaz gözenekleri incelenmiştir. Bu tür döküm kusurlarının gelişimini araştırmak için mikro-grafik analiz yapılmıştır. Sonuçlar, bu tür döküm kusurlarının yüzeyinin kıvrımlı şekillere ve rastgele boyutlara sahip olduğunu göstermektedir. Karterin dolum davranışını incelemek için sayısal simülasyon gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, sıvı metal şelale yapısına girdiğinde yolluk hızının aniden arttığını ve türbülansa yol açtığını göstermektedir. Ayrıca, sürüklenen hava davranışı yolluk hızı ile ilişkilidir. Artan yolluk hızı ile metal birleştiğinde oluşan türbülans, şelale yapısı nedeniyle dökümün ortasında daha yoğun hale geldi. Son olarak, bu tür bir döküm kusurunun gaz sürüklenmesi olduğu doğrulandı (Sun ve ark., 2019).

- Mattia Merlin ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilen ‘Impact behaviour of A356 alloy for low-pressure die casting automotive wheels’ isimli çalışmada, A356 alüminyum alaşımı 17 inçten alınan kesit, Charpy numuneleri üzerinde aletli darbe dayanımı testleri gerçekleştirilmiştir. Tekerlekler farklı geometri ve ısıtılma işlemi gösterir. Bu yazıda, mikro yapı ve kusurların darbe özellikleri üzerindeki etkileri incelenmiştir (Merlin ve ark., 2009).
- P.K. Seo ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilen ‘Numerical visualization of viscosity in phase transformation forming process with controlled liquid fraction’ isimli çalışmada, yarı katı basınçlı döküm ile alüminyum üst kol parçasının geliştirilmesi için bir dizi çalışma yapılmıştır. Bilgisayar simülasyonu sonuçlarına dayanarak, üst kol parçaları üretildi ve mikro yapılar gözlemlenerek kusurlar analiz edildi. Sonuç olarak, ağırlığı 1,0 kg'ın altında olan süspansiyon parçasına yarı katı basınçlı döküm işlemi uygulamak amacıyla gözenekleri ve sıcak noktaları en aza indiren bir kalıp önerilmiştir (Seo ve ark., 2004).
- P.K. Seo ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilen ‘Numerical integration design process to development of suspension parts by semi-solid die casting process’ isimli çalışmada, otomobil endüstrisinde son yıllarda otomobil parçalarının ağırlığının düşürülmesi gerekli hale gelmiştir. Bu sorunu çözmek için alt kol parçaları, çelik kol parçalarının yerine yarı katı basınçlı dökümle alüminyum alaşımlı metalden imal edilmiştir. Alüminyum alaşımlı parçalar otomobillerin ağırlığını azaltabilir, ancak alüminyum alaşımlı parçaların mekanik özellikleri çelik parçalara göre daha düşüktür. Çelik kol parçalarının yerine alüminyum alaşımlı parçaların kullanılması için, yeni model tasarımlarına geçmeden önce mukavemet ve yorulma simülasyonları yapılmalıdır. Kol parçasının yarı katı basınçlı dökümü için kalıp tasarımı, hava gözenekleri, safsızlıklar ve doldurma hatalarından kaynaklanan kusurlara göre değerlendirilmelidir. Bu çalışmada, optimum kalıp tasarımını önermek için doldurma ve katılaştırma süreçleri simüle edilmiştir (Seo ve ark., 2007).

- Fatih BARAN ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilen ‘Dökme Demirlerde Döküm Simülasyonu Yazılımı ile Dart Hatası Oluşumunun Analizi ve Önlenmesi’ isimli çalışmada, dökümhanelerde fazlaca ortaya çıkan, yüzey hatalarından birisi olan dart hatasının çeşitlerini ve olası sebepleri incelenmiştir. Bu bağlamda yolluk tasarım yenilenmiş bilgisayar destekli simülasyon programında analiz edilmiştir. Sonuç olarak yeni tasarlanan yolluk sistemi ile iş parçasının üretim verimi arttırılmıştır (Baran ve ark., 2022).
- Yücel AYDOĞAN ve Özlem Karataş ERTAN tarafından yapılan ‘Az Alaşımli Çelikten Üretilen Yatak Başlığının Kum Kalıba Döküm Optimizasyonu’ isimli çalışmada, döküm parçasının verimliliği açısından önemli rol oynayan besleyici ve yolluk sistemi optimize edilmiştir ve rekabetçi olabilmek için döküm simülasyon programı kullanılmıştır. Döküm simülasyonu ile birlikte bütün olarak çalıştırılan optimizasyon modülü ile uygun besleyici tasarımı uygulama üzerinden bir örnek ile açıklanmıştır ve optimizasyon çalışmasının avantajları paylaşılmıştır (Aydoğan ve ark., 2022).

3. MATERYAL VE YÖNTEMLER

3.1 Materyal

3.1.1 Armatür

İnsanların ihtiyaçları doğrultusunda sıcak ve soğuk suyu karıştırarak, eski sistemlere göre daha tasarruflu ve kullanışlı olacak şekilde tesisattan gelen suyu kullanıma hazır hale getiren bataryalardır. Armatürler kullanım yerlerine göre farklı tasarım ve özelliklerde olabilirler. Kullanım yerlerine göre armatürler lavabo, banyo eviye, duş, bide, ankastre lavabo ve banyo şeklinde isimlendirilirler (Şekil 3.1).



Şekil 3.1 Farklı kullanım alanlarına ait su armatürler

Kullanım yerlerine göre tasarımları değişen bataryaların bu tasarımlara istinaden uygun imalat yöntemine tabi tutulurlar. Bu yöntemler, basınçlı döküm, sıcak dövme, seri işleme kabiliyeti yüksek otomat tezgâhları, cnc tezgâhlarıdır.

3.1.2 Pirinç Döküm Malzemesi (Bakır inko Alaşımı)

Sıhhi tesisat endüstrisi için geniş bir kullanıma sahip temel malzemelerden biri de bakır çinko alaşımıdır. Bu alaşımın fiziksel ve kimyasal özellikleri sayesinde, sıhhi tesisatta kullanılan bağlantı parçalarına, vanalarına ve konektörlerine kadar içme suyu ile ilgili ürünlerin üretilmesinde hammadde olarak kullanılmaktadır (Şekil 3.2). Bu hammaddenin malzeme tanımı, % kimyasal bileşimi, mikro yapısı ve imalat özellikleri, fiziksel özellikleri, mekanik özellikleri sırasıyla tablo 3.1, 3.2, 3.3, 3.4 ve 3.5’te verilmiştir.



Şekil 3.2 CuZn39Pb1Al-B kıle hammadde görseli

Tablo 3.1. CuZn39Pb1Al-B malzeme tanımı (ASBW, 2023)

MALZEME TANIMI					
ASBW	ULUSLARARASI	EN	UNS	JIS	KISITLAMALAR
L01	CuZn39Pb1Al-B	CB757S (CC757S)**	-	-	-
ÜRÜN STANDARDI					
Külçe				EN 1982	

Tablo 3.2. CuZn39Pb1Al-B malzemesinin kimyasal kompozisyonu (ASBW, 2023)

% OLARAK REFERANS KİMYASAL BİLEŞİM (ANA ELEMENTLER) *										
Malzeme**	Cu	Pb	Ni	Fe	As	Sn	Al	Bi	Mn	Zn
L01*	60,5	1,2	0,1	0,1	-	0,2	0,6	-	0,04	Kalanı

* İlgili standart spesifikasyonlarının kısıtlamaları dahilinde bu değerlerden sapmalar meydana gelebilir. Listelenmeyen öğeler EN1982'ye uygundur.

** Malzeme sembolü tanımı ISO 1190-1'de verilen tanımlama sistemine dayanmaktadır. Külçe şeklindeki malzemeyi tanımlamak için tanımlamaya bir "CB" eklenir ve döküm şeklindeki malzemeyi tanımlamak için tanımlamaya bir "CC" eklenir. Bu ayrımlar, benzer alaşımdan yapılmış işlenmiş ürünlerle karıştırılmanın önlenmesine içindir.

Tablo 3.3. Mikro yapısı ve imalat özellikleri (ASBW, 2023)

CuZn39Pb1Al-B PİRİNÇ HAMMEDDESİNİN MİKRO YAPISI VE İŞLENEBİLİRLİĞİ

- **L01** α -fazı daha parlak + β -fazı daha koyu):



İMALAT ÖZELLİKLERİ

ŞEKİLLENDİRME

İşlenebilirlik %75

Dökülebilirlik Mükemmel

BİRLEŞTİRME

Direnç Kaynağı (Alın Kaynağı) Orta

Asal Gaz Korumalı Ark Kaynağı Zayıf

Gaz Kaynağı (En yaygın kullanılan Oksiasetilen) Önerilmez

Sert Lehimleme Orta

Yumuşak Lehimleme İyi

Pirinç Kaynağı İyi

PARLATMA

Mekanik İyi

ÇALIŞMA SICAKLIĞI/ ISIL İŞLEM

Erime Aralığı 950 – 1020 °C

Korozyon Direnci

Pirinç, organik maddelere ve nötr veya alkali bileşiklere karşı oldukça dirençlidir. Karşılaştırıldığında, homojen α -pirinç, mikro yapısı nedeniyle çok daha tatmin edici bir korozyon direncine sahiptir. Gerilmeli korozyon çatlaması ve çinkosuzlaşma ise, özellikle ılık, asitli sular ve amonyaklı atmosferler gibi koşullar altında, hatta malzeme gerilimden arındırılmış durumda olmadığında daha da dikkate alınmalıdır.

Tablo 3.4. CuZn39Pb1Al-B malzemesinin fiziksel özellikleri (ASBW, 2023)

FİZİKSEL ÖZELLİKLER*					
Malzeme Yoğunluğu [g/cm ³]	Elektriksel İletkenlik		Termal İletkenlik [W/(m.K)]	Termal Genleşme Katsayısı (0 – 300 °C) [10 ⁻⁶ /K]	Elastikiyet Modülü [GPa]
	[MS/m]	[% IACS]			
8,45	14,57	25	115	20,5	108

*Referans değerler oda sıcaklığı içindir.

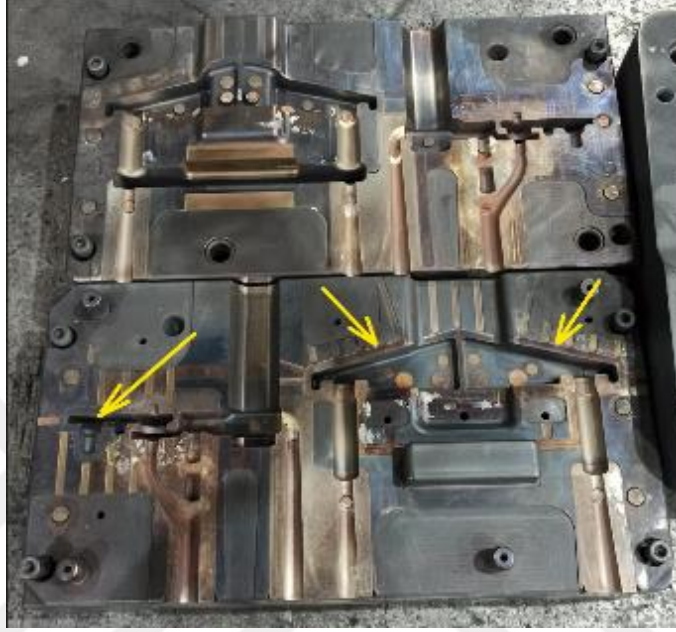
Tablo 3.5. CuZn39Pb1Al-B malzemesinin mekanik özellikleri (ASBW, 2023)

MEKANİK ÖZELLİKLER					
acc. to EN 1982					
Alaşım	Döküm İşlemi ve Tanımı	Çekme Dayanımı Rm	Dayanma Mukavemeti 0,2% Rp0.2	Uzama A	Sertlik HB
		MPa Min.	MPa Min.	[%] Min.	Min.
	Kum – GS	300	100	15	70
	Kokil Kalıbı- GM	400	140	15	90
CB757S / CC757S	Basınçlı Döküm – GP	310	270	1	120

(GS (Kum Döküm), GM (Kokil Kalıba Döküm), GP (Basınçlı Döküm))

3.1.3 İmalat Çeliği (Kum Maça Kalıbı)

Kum maça üretiminde kalıp malzemesi olarak, CK45, C45E veya 1045 imalat çeliği olarak bilinen malzeme kullanılacaktır. Kum maça kalıbı malzemesi için malzeme tanımı ve çeliğin yüzde olarak alaşım değerleri aşağıda sırasıyla tablo 3.6 ve 3.7’de verilmiştir (Breslavsky, 2023).



Şekil 3.3 CK45 kum maça kalıbı

Tablo 3.6. Malzeme tanımı (Breslavsky, 2023)

MALZEME TANIMI	
SINIF	C45E
NUMARA	1.1191
SINIFLANDIRMA	Alaşımısız Çelik (Karbon Çeliği)
STANDART	EN 10277-5: 2008 Su Verme ve Temperleme İçin Çelikler

Tablo 3.7. C45E maça kalıp hammaddesinin kimyasal bileşim % değerleri (Breslavsky, 2023)

ÇELİĞİN YÜZDE (%) OLARAK KİMYASAL BİLEŞİMİ C45E(1.1191): EN 10277-5-2008							
C	Si	Mn	Ni	P	S	Cr	Mo
0,42 – 0,5	Max. 0,4	0,5 – 0,8	Max. 0,4	Max. 0,03	Max. 0,035	Max. 0,4	Max. 0,1

3.1.4 Kokil Kalıbı (Batarya Kalıbı CuCoNiBe)

Basınçlı döküm ile üretim yönteminde kullanılacak kalıpların prosese uygun tasarlanması ve dökülen parçaların ıskarta oranlarını hatırı sayılır şekilde etkilemektedir. Kalıp malzemesi olarak kullanılacak olan CuCoNiBe alaşımının oranları tablo 3.8’de belirtilmiştir (Şekil 3.4). Sıvı metalin basınç etkisi altında kalıba dolmasından dolayı kalıp hammaddesinin mekanik ve ısıl özelliklerin uygulanan döküm yönteminden en az şekilde etkilenmesi gereklidir. Malzemenin mekanik ve fiziksel özellikleri sırasıyla tablo 3.9 ve 3.10’da gösterilmiştir (Albaksan, 2023).



Şekil 3.4 CuCoNiBe kokil kalıbı görseli

Tablo 3.8. Kokil kalıbı için kimyasal bileşim yüzde oranları (Albaksan, 2023)

CuCoNiBe YÜZDE (%) OLARAK KİMYASAL BİLEŞİMİ			
Cu	Ni	Be	Co
Kalan	0,8 – 1,3	0,4 – 0,7	0,8 – 1,3

Tablo 3.9. CuCoNiBe malzemesinin fiziksel özellikleri (Albaksan, 2023)

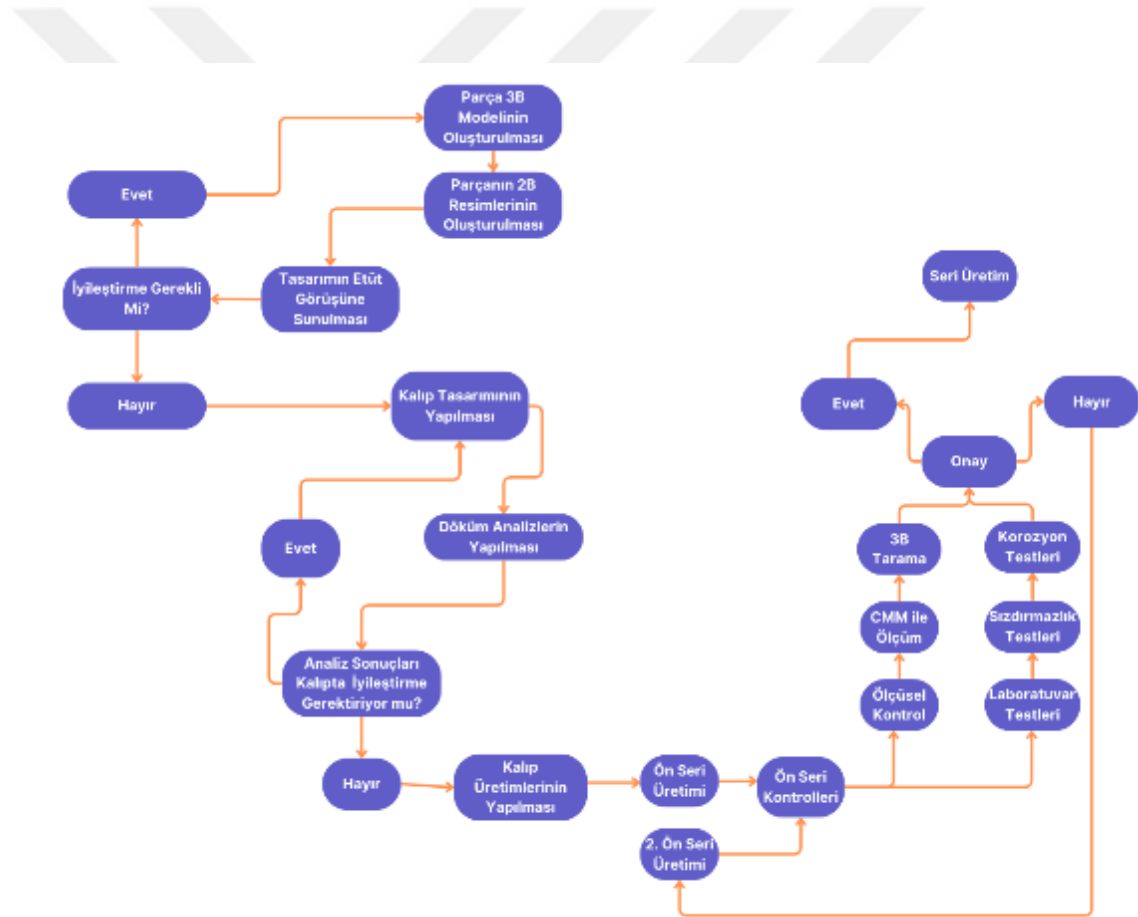
FİZİKSEL ÖZELLİKLER				
Malzeme Yoğunluğu [g/cm ³]	Termal İletkenlik Min. [W/(m.K)]	Elektrik İletkenliği Min. [MS/m]	Elektrik İletkenliği (I.A.C.S.) Min. %	Özgül Isı [J/(g.K)]
8,8	230	24	42	0,42

Tablo 3.10. CuCoNiBe malzemesinin mekanik özellikleri (Albaksan, 2023)

MEKANİK ÖZELLİKLER				
Üretim Şekli	Kopma Mukavemeti Rm N/mm ²	Akma Mukavemeti Rp 0,2 N/mm ²	Uzama (A5) %	Sertlik (Brinell) HB30
Ekstrüzyon	Min. 650	Min. 500	Min. 8	Min. 210
Dövme	Min. 600	Min. 500	Min. 8	Min. 220

3.2 Yöntem

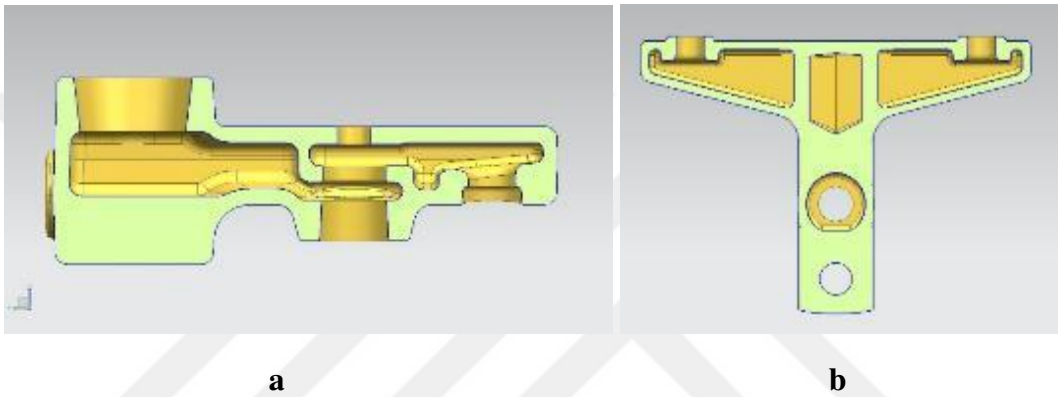
Bir iş parçasının, seri üretime geçebilmesi için belirli bir iş akışını takip ederek ilerlemesi, süreci daha iyi yönetebilmede yardımcı olmaktadır. Bu akış şekil 3.5’ te verilmiştir. Buna göre, iş parçasının 3 boyutlu katı modeli ve teknik resimleri oluşturulur, ardından kalıp tasarımı yapılır ve döküm simülasyonu çalıştırılır. Döküm analizlerinin sonucunda, optimum verime sahip tasarım belirlenir ve kalıp üretimi başlatılır. Kalıplar üretildikten sonra ön seri dökümü gerçekleşir. Dökümden elde edilen iş parçası ile başlangıçta oluşturulan iş parçasının teknik resme göre uygunluğu ve eş parçalarıyla uyumlu çalışması kontrol edildikten sonra seri üretim aşamasına geçilebilmektedir.



Şekil 3.5 İş akışı şematik gösterimi

3.2.1 3 Boyutlu Tasarım Programı (Siemens NX 12)

Bu çalışmada, ürünlerin 3 boyutlu tasarlanması, teknik resimlerinin oluşturulması, gövde ağırlığının belirlenmesi, kaplanacak yüzeyin alanlarının hesaplanması gibi parametreler Siemens NX 12 programında yapılmıştır. Tasarım programları bir ürünün gelişim sürecinde kavramsal tasarımından, detaylı mühendisliği ve üretime kadar her aşamayı desteklemektedir. Parça geometrisinde et kalınlıkları genellikle 4 ve 5 mm arasında homojen olarak tasarlanmıştır. Gövde üzerinde diğer komponentlerin takılacağı detaylar için işlem et payları dahil olacak şekilde katı model hazırlanmış ve kalıp çıkma açıları verilmiştir.



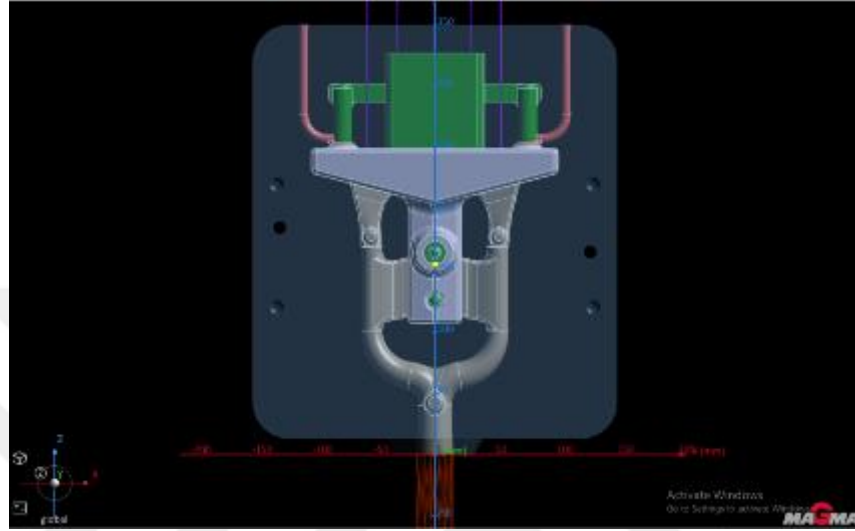
Şekil 3.6 Banyo bataryasının görüntüsü (a- yandan kesit görünümü, b- üstten kesit görünümü)

3.2.2 Simülasyon Programı (Magmasoft 6.0)

Üretime alınacak parçaların katı modelleri ve döküm kalıplarının tasarımı yapıldıktan sonra kalıp içerisindeki eriyik malzemenin akışını, (FDM) sonlu farklar metodu ve (CFD) hesaplamalı akışkanlar dinamiği ile simüle eden Magmasoft® yazılımından yararlanılacaktır. Magmasoft® (Magmasoft, 2023) programının yaklaşımı, dökümcülerine, kalıp imalatçılara ve döküm parça kullanıcılarına tüm proseslerinde maliyet düşürme, verimli üretim ve ürünlerine değer katma konusunda yeni ve etkili bir bakış açısı sunmaktadır. Bu yaklaşım üretime geçmeden önce en uygun parça ve kalıp tasarımlarının belirlenmesinde ve en uygun proses parametrelerinin tespitinde kullanıcılara büyük fayda sağlamaktadır.

3.2.2.1 Geometri Tanımlama

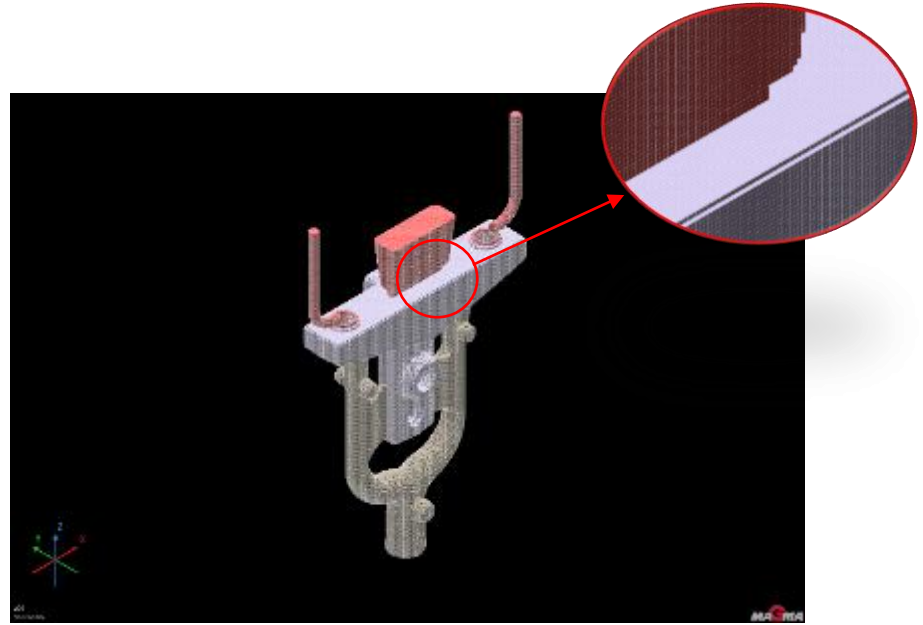
Siemens NX 12 programında tasarladığımız döküm gövde, üst ve alt kalıp, yolluk, kum maça, besleyici ve çıkıcılar 3B katı modelleri Magmasoft programına çekilir. Çekilen katı model tasarımlarının hangi döküm bileşenine ait olduğu arayüzden tanımlanır.



Şekil 3.7 Geometri tanımlama

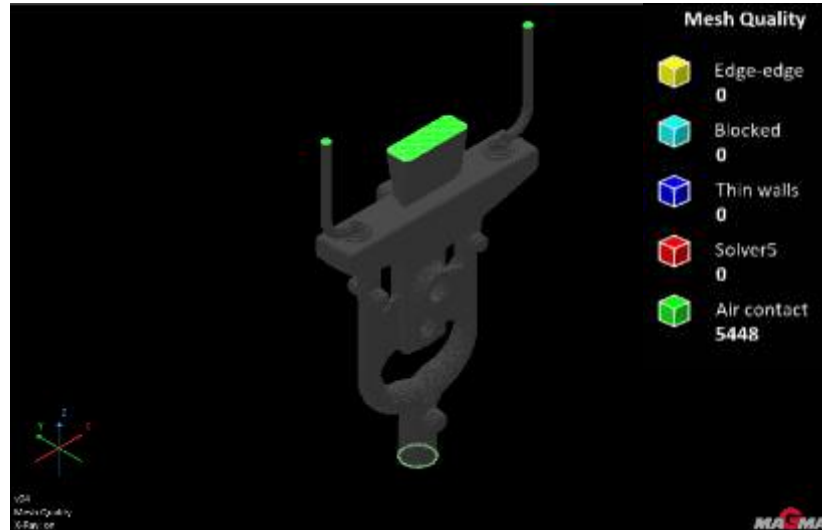
3.2.2.2 Mesh Atama

Simülasyon verilerinin doğru ve anlamlı yorumlanabilmesi için döküm gövdesi ve kalıp parçalarının uygun mesh yapısı önem taşımaktadır. Bu bağlamda mesh işlemi için Magmasoft programında tanımlanan parçalara ayrı ayrı kübik formda ve farklı boyutlarda döküm koşullarına uygun olacak şekilde mesh çalışması yapılmıştır (Şekil 3.8).



Şekil 3.8 Meshleme işlemi sonrası gövde görseli

Meshleme operasyonunda herhangi bir hatanın olup olmadığı mesh kalitesi bölümünden görülebilmektedir. Burada ‘Edge to Edge’ oluşan küplerin sadece kenar-kenar (yüzey-yüzey yerine) temasının olduğunu, ‘Blocked’ hiçbir temasın olmadığını, ‘Thin Walls’ et kalınlığında sadece 1 katman mesh oluşturulabildiğini ve ‘Solver 5’ algoritması için uygun olmayan meshleri gösterir. Bu hataların toplam mesh sayısının %1’ini aşmaması beklenir (Magmasoft, 2023). Çalışmada oluşturulan mesh yapısında ise herhangi bir hata ile karşılaşılmamıştır (Şekil 3.9).



Şekil 3.9 Mesh quality arayüzü görseli

3.2.2.3 Tanımlama

- Malzeme tanımlama kısmında, döküm malzemesi olarak CuZn38Pb olarak Magmasoft kütüphanesinde tanımlı olan hazır malzemeden seçilmiştir. Kokil kalıbı olacak CuCoBe ve kum maça olarak Furan Core (kum taneciklerini birbirine bağlayıcı tür) malzemeleri programın kütüphanesinden hazır olarak seçilmişlerdir.
- Sıvı metal sıcaklığı 1010 °C, sabit kalıp sıcaklığı 130 °C ve kum maça sıcaklığı ise 25 °C olarak tanımlanmıştır.
- ‘Feeding Effectivity’ değeri ise %30 olarak girilmiştir (%70 sıvı). Malzemenin %30 kadar katılaştığında besleme yeteneğinin durduğunu göstermektedir. Bu değer her alaşım için farklıdır. Tanımlanan CuZn38Pb alaşımı için değer programda tanımlı gelmektedir (Şekil 3.10).

Material	Mat ID	Database/File name	Initial Temperature (°C)	Feeding Effectivity (%)
> Cast Alloy		MAGMA/CuZn38Pb	1010.0	30.0
Material	Mat ID	Database/File name	Initial Temperature (°C)	
> Permanent Mold		MAGMA/CuCoBe	130.0	
Material	Mat ID	Database/File name	Initial Temperature (°C)	
> Core		MAGMA/Furan-core	25.0	

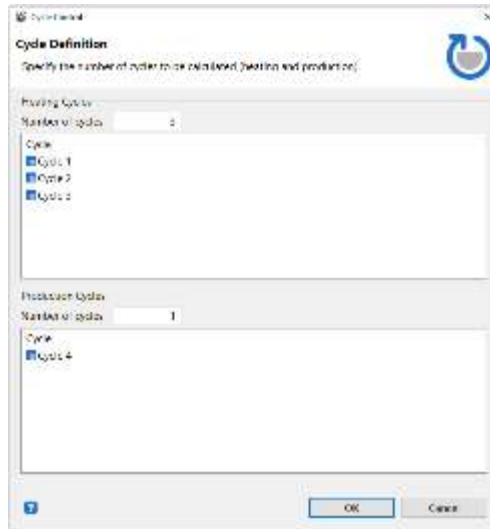
Şekil 3.10 Malzeme atama penceresi

- ‘Heat Transfer Definitions’ (HTC) sekmesinde Cast Alloy => Permanent Mold, Cast Alloy => Core, Permanent Mold => Permanent Mold, Permanent Mold=> Core arasındaki ısı iletim katsayıları HTC [W/m²K] sırası ile şekil 3.11’deki gibi tanımlanmıştır.

Material 1	Mat ID	Material 2	Mat ID	Database/File name	Type
> Cast Alloy		Permanent Mold		User/1_ECA_genel_HTC	Temperature Dependent HTC
> Cast Alloy		Core		MAGMA/C800.0	Constant HTC
> Permanent Mold		Permanent Mold		MAGMA/C300.0	Constant HTC
> Permanent Mold		Core		MAGMA/C200.0	Constant HTC

Şekil 3.11 HTC değerleri sekmesi

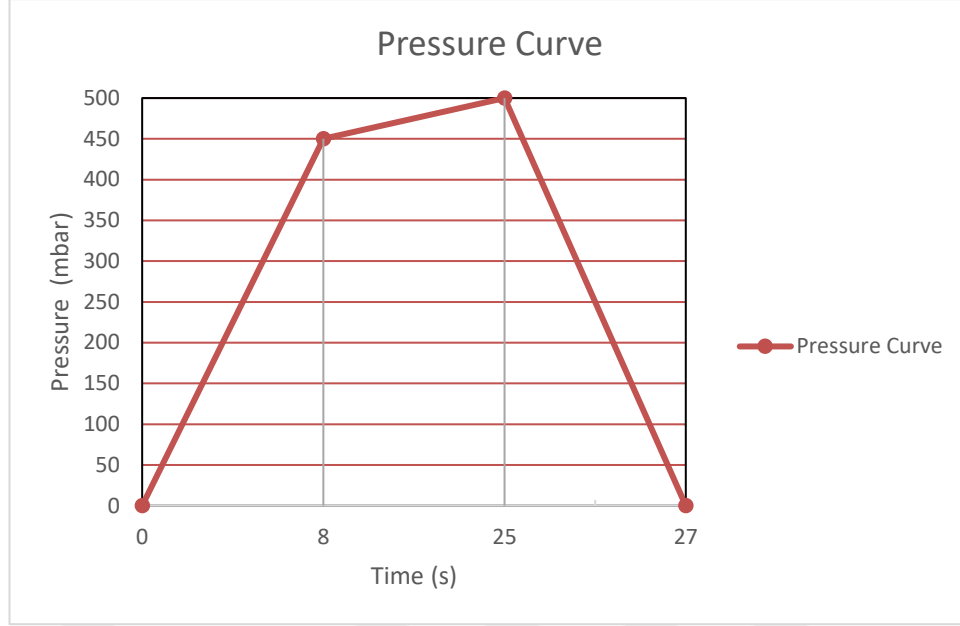
- ‘Cycle Defination’ sekmesinde üretimin safhaları tanımlanmaktadır. Öncelikle kalıbın rejim sıcaklığına erişebilmesi için gerekli olan ısı döngüsü sayısı belirlenip (bu projede 3 rejim üretimi hesaplanmıştır) en son gerçek üretim safhası tanımlanır (Şekil 3.12).



- ‘Preparation’ kısmında kalıbın grafit havuzuna daldırılma süresi, grafit havuzunun sıcaklığı, kum maçanın yerleştirilmesi, kalıp kapanması, dolum yapılması ve parçanın atılma süreleri ayrı ayrı prosese uygun şekilde tanımlanmıştır (Şekil 3.13).



- ‘Casting Die Filling’ sekmesinde dolum basıncı ve süreleri girilmiştir. Şekil 3.14’teki grafikte zamana bağlı olarak değişen basınç değerleri verilmiştir. 0 mbar basınç ile başlayan döküm işlemi ilk 8 saniye 450 mbar’a çıkacak ve 25. saniyeye kadar 500 mbar da tutacak ardından 2 saniye içinde 0 mbar basınça düşecek ve kalıbı açacaktır. Bu süreçte sıvı metalin kalıbı doldurmuş olması beklenmektedir. Uygun olmayan süre ve basınç değerleri eksik ve hatalı döküm sonuçları verecektir.



Şekil 3.14 Analiz için tanımlanan zaman-basınç grafiği

3.2.3 Alçak Basıncılı Döküm Tezgâhı

Gövde parçalarının üretilmesinde kullanılan döküm tezgâhı Induga – KWC marka alçak basınçlı döküm tezgahıdır. Döküm tezgâhı, pirinçten veya diğer demir dışı metallerden yapılmış vana ve vana gövdelerini, bağlantı parçalarını ve armatürlerin üretilmesinde kullanılır. Ocak kapasitesi 1800 kg, ergitme kapasitesi 90 KW, saatlik ergitme kapasitesi 300 kg/h, kalıp ağırlıkları 90 – 100 kg arasında olup çevrim süresi en az 70 saniyedir. Düşük basınçlı dökümün en büyük avantajı erimiş metalin, doğrudan bekletme veya döküm fırınından hassas bir şekilde yükseltici aracılığı ile kalıba dökülmesidir.

Döküm atölyesinde dökümü olan parçalar, parça alıcı tavaya boşaltıldıktan sonra döküm atölyesi proses kontrol talimatına göre kontrol edilir. Parça üzerinde herhangi bir hata türünün olup olmadığını gözlemlemek için, tablo 3.11'deki belirtilen şekilde hata tiplerine göre kontrol edilir ve hata türüne göre müdahalede bulunulur. Hatalı olan parçalar ayrılır ve hatalı parça tavaasına koyulur.

Tablo 3.11. Basınçlı döküm yönteminde hata türleri ve giderme yöntemleri

ÇIKABİLECEK HATA TİPİ	HATANIN KAYNAKLANABİLECEĞİ SEBEPLER	GİDERME YÖNTEMİ
Kum izi	Kalıpların hızlı kapanması	Makine ve kalıp ayar kontrolü uygun değilse kalıp ayarı ve makine ayarının yapılması.
	Kum maçanın sertliğinin yeterli olmaması	Katkı maddeleri kontrolü sonucu uygun değilse ilaveler yapılması.
	Maça pişme süresi fazla ise	Maça pişirme zamanının düşürülmesi.
	Kalıpta kum mevcutsa	Maça konulduktan sonra kalıpların döküme göndermeden önce kalıba tabanca ile hava tutarak dökülen kumların temizlenmesi.
	Metal sıcaklığı yüksek ise	Metal sıcaklığı uygun sıcaklığa düşürülür.
	Kalıp boşluğu ile kum maça ölçüsündeki toleransın %2 mm 'den fazla ise	Kalıp tashih edilir.
	Yolluk tasarımının uygunsuzluğu	Yeni yapılacak kalıplarda yolluk tasarımının değiştirilmesi.
Çatlak	Sıvı metal sıcaklığı uygun değilse	Metal sıcaklığının ayarlanması.
	Döküm kalıp sıcaklık uygun değilse	Kalıp sıcaklıkları ayarlanır.
	Grafit uygun değilse	Grafit havuzuna grafit ilavesi yapılması.
	Metal bileşimi ve doku sıklığı uygun değilse	Sıvı metal bileşimi spektrometre cihazında analiz edilmesi ve Analiz sonucu uygun değilse ocağa ilave yapılması.
	Kum maça sertlik uygun değilse	Kum maça sertliği ayarlanır.
	Kalıp profil uygun değilse	Kalıp profilindeki keskin köşeler tashih edilir.
	Kesitteki ani değişiklikler uygun değilse	Kesitte ani değişiklik olmamalıdır.
	Besleyici ve yolluk girişleri uygun değilse	Besleyici ve ilgili sistemler incelenmelidir.
Katmer	Metal sıcaklığı yeterli değilse	Sıvı metal sıcaklığı ayarlanır.

	Kalıp sıcaklığı yeterli değilse	Döküm kalıbının sıcaklığı ayarlanır.
	Grafit havuzunun kirli olması	Grafit havuzlarının bileşimi %12-25 grafit olacak şekilde değiştirilmesi.
	Grafit havuz bileşimi yeterli değilse	Grafit havuz bileşimi %12-25 grafit olacak şekilde ayarlanır.
	Kalıp yolluklarında daralma olması	Kalıp yollukların tashih edilmesi.
	Kalıbın kirli olması	Periyodik olarak pirinç talaşı püskürtülerek temizlenmesi.
Maça kırılması	Sıvı metal kalıp içindeki akışın engellenmesi	Maça kumuna katılan katkı maddelerinin kontrol yapılması. Kontrol sonucuna göre eksikse, ilave yapılması. Kontrol sonucuna göre fazla ise, eksiltme yapılması.
	Maçanın kırılması	Maça pişirme süresi ve kalıp sıcaklığı kontrolünün yapılması. Kontrol sonucuna göre, maça pişirme süresinin ve kalıp sıcaklıklarının ayarlanması.
	Maça yataklarının uygun olmaması	Tıkalı yer varsa, tıkalı olan yerlerin temizlenmesi. Tıkalı değilse, maçanın yataklamalara tam oturmasının sağlanması. Kalıp tashihi gerekli ise kalıp tashihi yapılması
Sünger	Döküm hızı uygun değilse	Döküm makinalarında doldurma zamanı arttırılır, basınç düşürülür.
	Sıvı metal kompozisyon uygun değilse	Sıvı metal kompozisyonu ayarlanır, gerekli ilaveler yapılır.
	Parça yolluk cidar kalınlığı uygun değilse	Yolluk girişi kesiti max. 6 mm'ye göre ayarlanır, parça cidar kalınlığı arttırılır.
Maça kaçıklığı	Maça yataklamaların uygun olmayışı	Tashih edilmesi.
	Döküm kalıplarının simetri olmayışı	Döküm kalıbı tashih edilmesi.
	Kalıp boşluğu ile kum maça ölçüsündeki toleransın %2 mm'den fazla ise	Kalıp tashih edilir.
Kalıp kirlenmesi	Kalıp kirli ise	Kalıp yüzeyi pirinç talaşın püskürtülmesiyle yıkanır.
Çökme	Kalıp sıcaklık yeterli değilse	Kalıplar ön ısıtmaya alınarak uygun sıcaklığa kadar ısıtılır.

	Metal kompozisyonu uygun değilse	Ocaktan analiz numunesi alınır, uygun değilse gerekli ilaveler yapılır.
	Grafit havuzu sıcaklık yüksekse	Havuz soğutma sisteminin kontrolünden sonra, havuz sıcaklığı uygun sıcaklığa grafitli su komple veya kısmi olarak değiştirilerek getirilir veya sıcaklık düşene kadar beklenir.
	Havuzlardaki grafit yeterli değilse	Santrifuj test sonucuna göre grafit ilave yapılır.
Çapak	Kalıp aşınması Kalıp ayarında dengesizlik	Kalıp tashih edilir veya kalıp değiştirilir. Kalıp bağlama ayarının yeniden yapılması.
Gözenek gaz boşluğu	Metal sıcaklık uygun değilse	Metal sıcaklığı ayarlanır.
	Kalıp sıcaklığı yetersizse	Kalıp ön ısıtmaya alınır uygun sıcaklığa gelene kadar ısıtılır.
	Basınç yüksekse	Döküm basıncı düşürülür yolluk tüpü yenisi ile değiştirilir.
	Yolluk tüpü daralmışsa	Değiştirilir.
	Havuz kirli ise Havuzlardaki grafit düşükse	İlaveler yapılır, tabana çöken grafit karıştırılır.
	Kalıp Kirli ise	Kalıplar periyodik olarak pirinç talaşı ile temizlenir.
	Metal kompozisyon analiz kontrolü uygun değilse	İlaveler yapılır.
	Maça bekleme süresi düşükse	Maçanın en az 2 saat beklemesi.
	Maça Pişirme süresi düşükse Reçine oranı yüksekse Maça kumu çok ince ise	Pişirme süresi uzatılır. Oran düşürülmesi. AFS 40-55 olacak şekilde kum kullanılması.
Doldurmazlık	Metal sıcaklığı düşükse	Metal sıcaklığı 995-1015 ⁰ C olacak şekilde arttırılır.
	Kalıp sıcaklığı düşükse	Kalıp sıcaklığı 130-150 ⁰ C olacak şekilde sıcaklığı arttırılır.
	Sıvı metal kompozisyonu uygun değilse	Ocak metal akışkanlığını arttırıcı ilaveler yapılır. (çinko, alüminyum vs.)
	Havuzdaki grafit oranı düşükse	Havuzdaki grafit oranı su ve grafit ilavesi ile istenilen orana getirilir.

	Yolluk tüpünde daralma, çatlak delik var ise	Yenisi ile değiştirilir.
	Yolluk tüpünde conta patlak hava ka�ırıyorrsa	Yenisiyle değiştirilir veya yolluk tüpü iyice sıkılır.
	Ocak kapağı ve metal yükleme hazne kapağından hava ka�ırıyorrsa	Contası kontrol edilir, gerekirse değiştirilir, kapak somunları sıkılır, hazne kapağının iyice kapanması sağlanır.
	Döküm basıncı düşük ise	Basıncı yükseltilmesi.
Çekme	Kalıp Sıcaklığı düşükse	Kalıp �n ısıtmaya alınır uygun sıcaklığa gelene kadar ısıtılır.
	Metal sıcaklığı uygun değilse	Ocak sıcaklığının ayarlanması.
	Basıncı yüksekse	Döküm basıncı düşürülür.
	Sıvı metal kompozisyonu uygun değilse	Ocak metal akışkanlığını arttırıcı ilaveler yapılır. (�inko, alüminyum vs.)
	Grafit kaplama uygun değilse	Grafit miktarı ayarlanır, havuzda kalma süresi arttırılır.
	Kalıp kirli ise	Kalıp temizlenmesi
	Besleyici yetersizse	Kalıp tashih edilir, yeni kalıp tasarımında değişiklik yapılır.
	Yolluk girişi et kalınlığı fazla olması	Besleyici genişletilir. Besleyici sayısı arttırılır. Yolluk girişi tashih edilir. Yolluk giriş bölgesindeki parça et kalınlığı arttırılır.



Şekil 3.15 KWC döküm tezgâhı

3.2.4 Kum Maça Tezgâhı

Dökülmesi istenen gövdelerin iç detaylarının oluşmasını sağlayan kum maçanın üretilmesi için çalışmada Bianchi marka kum maça tezgâhı kullanılmıştır. 6/8 bar basınç ile 8 kg ağırlığına kadar kum maçayı 50-60 saniyede üretebilmektedir. Döküm atölyesinde kokil kalıba koyulmak üzere üretilen kum maçalar, askı aparatlara veya uygun kasalara dikkatlice koyulduktan sonra döküm atölyesi kum maça prosesi kontrol talimatına göre kontrol edilir. Kum maça üzerinde herhangi bir hata türünün olup olmadığını gözlemlemek için, tablo 3.12'deki belirtilen şekilde kontrol edilir ve hata türüne göre müdahalede bulunulur.

Tablo 3.12. Kum maça üretiminde karşılaşılan hata türleri ve giderme yöntemleri

ÇIKABİLECEK HATA TİPİ	HATANIN KAYNAKLANABİLECEĞİ SEBEPLER	GİDERME YÖNTEMİ
Maçanın kalıpta kalması	Kalıbın soğuk olması	Kalıp sıcaklıklarının ayarlanması.
	Kalıpların ısınmaması	Rezistans değiştirilmesi.
	Kalıp figürleri birbirini karşılamaması	Kalıp figürlerinin birbirini tam karşılayacak şekilde ayarlanması.
	Kalıpta aşınma olması	Kalıp tashih edilmesi.
Kalıp problemi	Kalıbın uygun olmaması	Kalıp içine püskürtülen basınçlı kum ve sürekli üretimden dolayı aşınan yerler kaynak ile doldurularak tashih edilir.
	Kalıbın ayarsız olması	Kalıpların bağlanmasına dikkat edilmesi, aralarında açıklık kalmaması ve kaçıklık olmaması.
Maça çapak problemi	Kalıbın tam kapanmamış olması	Kalıpların tam kapanması sağlanır.
	Kalıp aşınmış ise	Kalıplar tashih edilir veya yenisi ile değiştirilir.
	İtici aşınmış, kum kaçırıyor	İtici değiştirilir.
Kum dökülmesi	Kalıp sıcaklıklarının yüksek olması	Kalıp sıcaklıkları plana göre ayarlanması.
	Pişirme süresi yüksekse	Pişirme süresi plana göre ayarlanır.
	Kum bozuksa	Yeniden kum hazırlanması.
	Kalıp aşınmışsa	Kalıp tashih edilmesi.
		Kalıp kontrol sonucuna göre yenisi ile değiştirilmesi.
Maça kırılması	Kalıp Sıcaklığı düşük olması	Kalıpların sıcaklığı plana göre ayarlanır.
	Pişirme Süresinin düşük olması	Pişirme süresi plana göre ayarlanır.

	Kum karışımı bozuk	Yeniden kum hazırlama.
	Kalıp aşınmışsa, çatlaksa	Kalıp tashih edilir.
	Kalıp ayarsızsa	Kalıp ayarı kontrol edilir.
	Hava basıncı düşükse	Basınç yükseltilir, hava kayıpları önlenir, memeler kontrol edilir.
	Reçine, katalizör, kaydırıcı oranları düşükse	Reçine, katalizör, kaydırıcı oranları artırılır.
	Kalıp figürlerinin uygun olmaması	Keskin köşeler radyüslenir, kesitleri küçük olan yerler tasarımda büyütülür.
Doldurmazlık	Kalıbın alt ya da üst kısmı tam kapanmıyorsa	Kalıpların tam kapanacak şekilde ayarlanması.
	Meme tıkalı ise	Memelerin şişlenerek iyice açılması veya Su soğutma sistemi kontrolünün yapılması.
	Kum yolluk girişi çap yetersizse	Kalıp tashih edilir, çap büyütülür.



Şekil 3.16 Bianchi Kum Maça Tezgâhı

3.2.5 Su ve Hava ile Sızdırmazlık Testi

ATEQ marka test cihazı ile 4 Bar'a kadar banyo bataryalarında 10/1000 oranında tolerans ile armatür gövdelerinin hava sızdırmazlık testleri yapılmaktadır. Testin sızdırma üst değeri 100 Pa'dır. Bu değer her gövde de iç hacmi değişeceğinden dolayı farklıdır. Bu test döküm gövdesi üzerinde tüm işlemlerinin bitmiş hali ile yapılmaktadır (Şekil 3.17).

- Testi başlatmadan önce bataryaya uygun kartuş ve yön değiştiricisi montaj ekibi tarafından uygun tork değerlerinde takılmaktadır.
- Manometre basıncı minimum 4 bar olmalıdır.
- Kontrol edilecek bataryanın el duşu çıkışına esnek hortum aparatını takılır. Bataryanın kartuşunu kapalı konuma getirilir. Pedala basılı tutarak bataryayı tezgâhın aparatına yerleştirilir ve pedal bırakılır. Vanayı soğuk su konumuna çevrilip açılır. (Su tek girişten, soğuk su girişinden gelmektedir.) Kartuşu soğuk konumda açıp su akışı sağlanır. Kartuşu açık olarak tam sıcak konuma getirilir ve 5 saniye boyunca beklenir. Bu süre içinde bataryanın herhangi bir yerinden veya çıkış ucundan kaçak olup olmadığı gözlemlenir. Eğer kaçak varsa; bu durumda bataryayı karıştırmadan gövdenin ıskarta edilmesi için yarı mamul montaj masasına götürülür.
- Kol yardımıyla kartuş orta konuma getirilir. Su akışının düzgün olduğunu, perlatör grubunda kaçak olup olmadığı gözlemlenir. Eğer su akışında bozukluk, tıkanıklık veya perlatör grubundan kaçak varsa; perlatör grubunu ve conta basma yüzeyini kontrol edip, tekrar gözlem yapılır. Kaçak devam ediyorsa bataryayı karıştırmadan gövdenin ıskarta edilmesi için yarı mamul montaj masasına götürülür.
- Kartuş bölgesi kontrol edilir. Kartuş bölgesinde kaçak veya terleme olup olmadığı gözlemlenir. Eğer kaçak varsa;
- Bataryayı karıştırmadan kartuş değişimi ve batarya gövdesi kontrolü için yarı mamul montaj masasına götürülür. Kartuş değişiminden sonra tekrar kontrol edilir. Kartuş bölgesinde kaçak veya terleme devam ediyorsa, bataryayı karıştırmadan gövdenin ıskarta edilmesi için hemen yarı mamul montaj masasına teslim edilir.
- Yön değiştirici bölgesi kontrol edilir. Yön değiştirici bölgesinde kaçak veya terleme olup olmadığı gözlemlenir. Eğer kaçak varsa; kaçak yön

değiştiriciden kaynaklanıyorsa yön değiştirici ve batarya gövdesi kontrolü için yarı mamul montaj masasına götürülür. Yön değiştirici değişiminden sonra tekrar kontrol edilir. Yön değiştirici bölgesinde kaçak veya terleme devam ediyorsa, bataryayı karıştırmadan gövdenin ıskarta edilmesi için yarı mamul montaj masasına götürülür.

- Bataryanın tamamını kontrol edilir. Gövde üzerinde kaçak veya terleme olup olmadığı gözlemlenir. Eğer kaçak varsa; bataryayı karıştırmadan gövdenin ıskarta edilmesi için hemen yarı mamul montaj masasına götürülür.
- Bataryanın içindeki suyu boşaltmak için vanayı hava konumuna getirildiğinde kartuş, yön değiştirici, perlatör grubu ve gövdenin herhangi bir yerinden kaçak veya terleme olup olmadığını da çok dikkatli bir şekilde kontrol edilir.
- Hatalı oranının fazlalaşması veya kronik bir arızadan dolayı hatalı ayrımı olursa bataryalar dikkatli bir şekilde ayrılmalıdır.
- Çalışma sırasında parçalarda vuruş-çizik oluşmamasına özen gösterilmelidir.
- Sağlam bataryaların üzerine kabul edilmiştir yazılı onay kartı doldurup koyulmalıdır.



Şekil 3.17 Hava kaçağı test cihazı

3.2.6 2D X-Ray Muayene Cihazı

Ön seri döküm işlemi tamamlandıktan sonra seçilen gövdeler ile ZEISS BOSELLO MAX 450kV 2D X-Ray muayene cihazında iç detaylarının görüntülenmesi için çalışmalar yapılmıştır (Şekil 3.18) (Zeiss Carl Türkiye, 2024). Tablo 3.13'te Bosello Max cihazının teknik özellik tablosu verilmiştir.



Şekil 3.18 Bosello Max 2D X-ray tarama cihazı (Zeiss Carl Türkiye, 2024)

Tablo 3.13. Bosello Max teknik özellik tablosu (Zeiss Carl Türkiye, 2024)

Radyasyon Üretimi ve Sensör Teknolojisi			
ZEISS BOSELLO MAX	70.120 CNC		
X-Ray Ekipmanları	Mak. Tüp Voltajı	in kV	450
	Mak. Hedef Performansı	in W	700/1200
	Odak Noktası Boyutu	in mm	0.4/1.0
Panel Dedektörü 8 inch	Piksel Sayısı		1024x1024
	Piksel Boyutu	in μ m	200
	Aktif Alan	in mm	200x200
	Kare Hızı (14 bit ADC)	in fps	15/30 (1x1/2x2 bölme modu)
	Kare Hızı (16 bit ADC)	in fps	25/30 (1x1/2x2 bölme modu)

3.2.7 3 Boyutlu Tarama Cihazı

Döküm işlemi gerçekleştikten sonra dökülen gövdenin HandySCAN marka 3 boyutlu tarama cihazı ile katı modelinin bilgisayar ortamına aktarılması yapılmaktadır. Tarayıcı, operatör tarafından taranacak parça üzerinde dikkatlice gezdirdiği esnada eş zamanlı olarak WXelements olarak adlandırılan programda katı 3 boyutlu katı modeli otomatik olarak oluşturulur. Oluşturulan bu gerçek dökümden elde ettiğimiz katı model ile Siemens NX 3 boyutlu tasarım programında hazırladığımız katı modeli birebir olarak kıyas yapılabilmektedir. HandySCAN 3 boyutlu tarama cihazı tasarım, imalat ve metroloji uzmanlarının ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla, fiziksel nesnelerin herhangi bir ortamda en etkili ve güvenilir şekilde taranmasını sağlamaktadır. Hassiyet 0,0025 mm, hacimsel hassasiyet 0,02+0,04 mm/m ve 0,94 kg ağırlığındadır (Şekil 3.19) (Creaform, 2024).



Şekil 3.19 Handyscan 3D Black Series tarama cihazı (Creaform, 2024)

3.2.8 Stereo Mikroskop

Üretilen döküm parçasından hataların çıkması muhtemel bölgeleri daha detaylı inceleyebilmek ve yapılan çalışmanın doğruluğunu kanıtlayabilmek için kullanılan optik bir mikroskop cihazı kullanılmıştır (Şekil 3.20). Cihazın teknik özellikleri tablo 3.14’te verilmiştir.



Şekil 3.20 Nikon SMZ 745T Stereo Mikroskop (Karfo Endüstriyel, 2024)

Tablo 3.14 Nikon SMZ 745T Stereo Mikroskop Özellikleri (Karfo Endüstriyel, 2024)

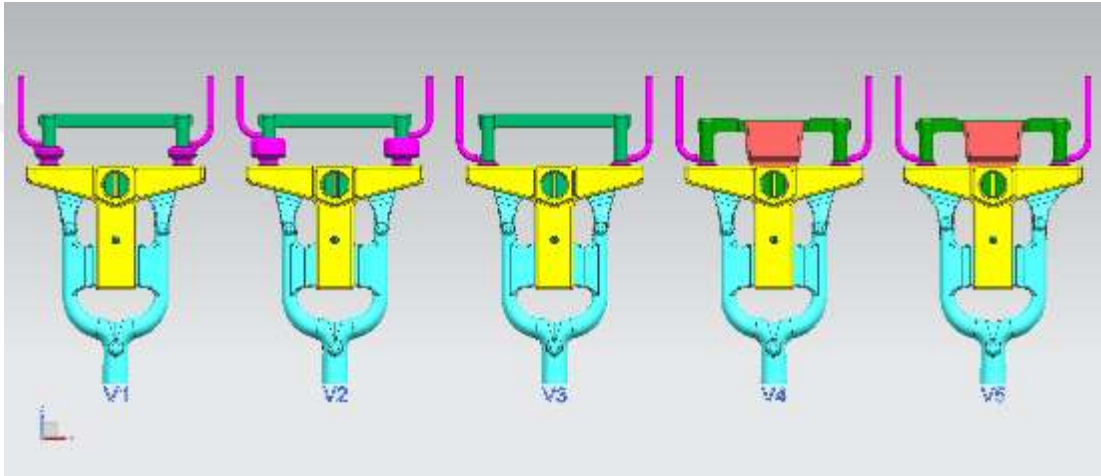
Optik sistem	Greenough optik sistemi
Toplam büyütme	Kullanılan mercek ve yardımcı objektife bağlı olarak 3,35-300x
Dikey tüp	Dahili C montajlı 0.55x büyütme merceği (FN 11), 2/3 inç veya daha küçük CCD ile uyumludur
Mercek tüpü	Sabit tip
Mercek eğim	45 °
Interpupiller mesafe ayarı	52-75 mm
Oküler (diyoptri ayarı ile)	CW 10xB (FN 22), CW 15x (FN 16), CW 20x (FN 12,5), CW 30x (FN 7)
Yakınlaştırma oranı	7.5: 1 (yaklaşık)
Yakınlaştırma aralığı	0.67-5x
Yardımcı amaçlar	G-AL 0.5x (WD 211 mm), G-AL 0,7x (WD 150 mm), G-AL 1,5x (WD 61 mm), G-AL 2x (WD 43,5 mm)
Çalışma mesafesi	115 mm

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1 Farklı Yolluk ve Besleyici Tasarımlarında Analiz Sonuçlarının

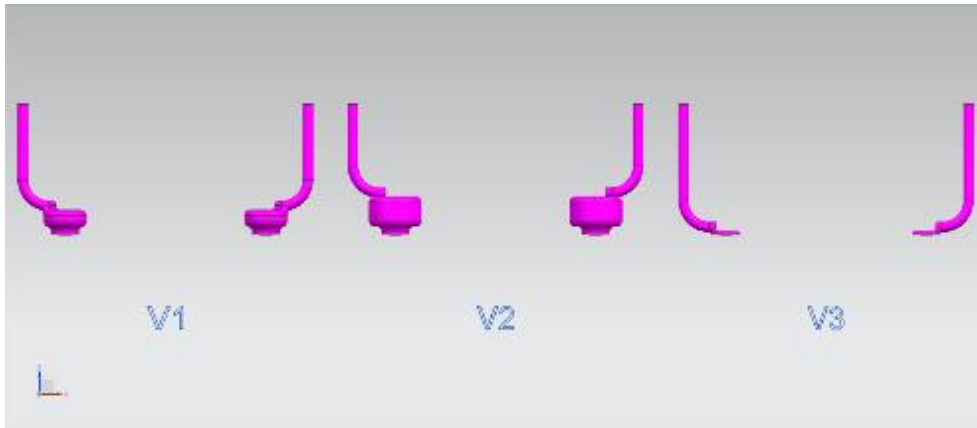
Yorumlanması

Simülasyon çalışmalarında yapılacak olan 5 farklı versiyonu, döküm gövdenin tasarımında değişiklik yapmadan fakat yolluk, besleyici ve çıkıcı kısımlarında ekleme ve çıkarmalar yaparak analiz sonuçları irdelenmiştir. Versiyonların tasarım değişiklikleri şekil 4.1’te gösterilmiştir.



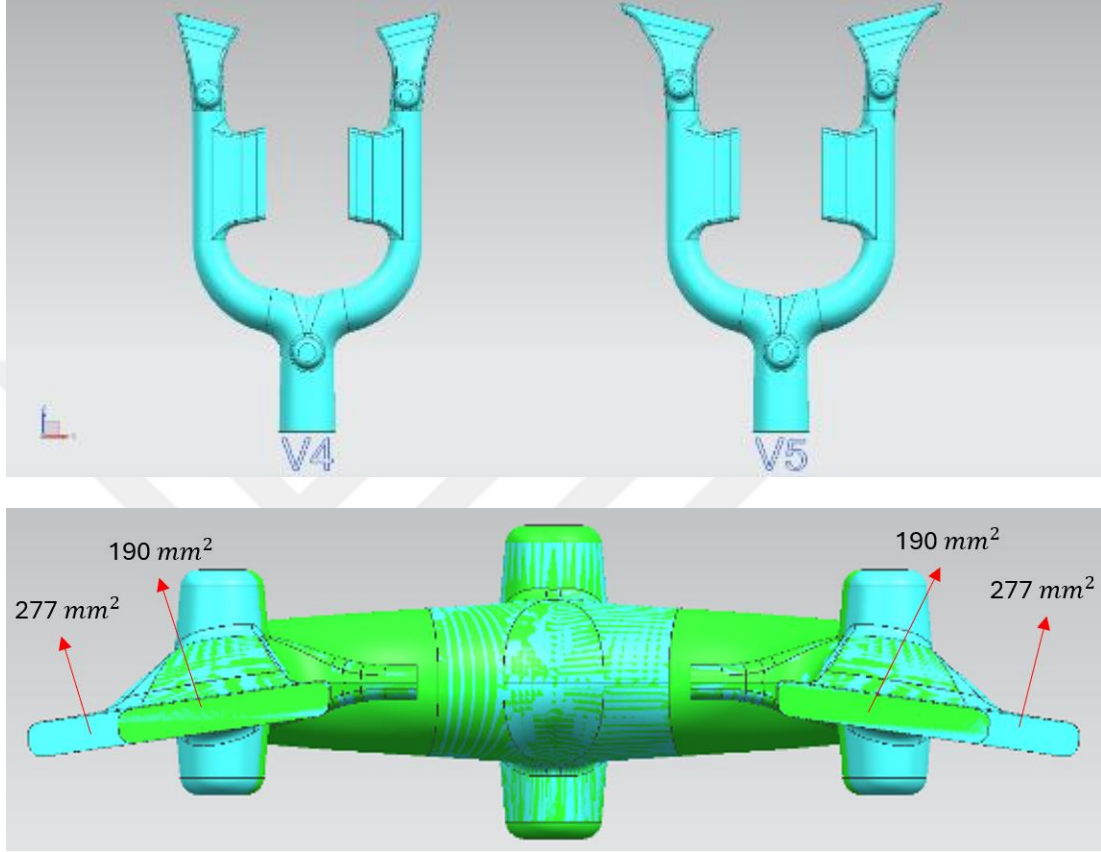
Şekil 4.1 Çalışma için kullanılacak versiyonların görselleri

Şekil 4.2’te 3 farklı çıkıcı detayı mevcuttur. Bu çıkıcılar döküm esnasında açığa çıkan veya mevcutta kalıp içerisinde bulunan havanın kokil kalıbından tahliyesini ve sıvı metalin döküm gövdesinin tüm uç noktadaki detaylarının verimli bir şekilde doldurmasına yardımcı olur.



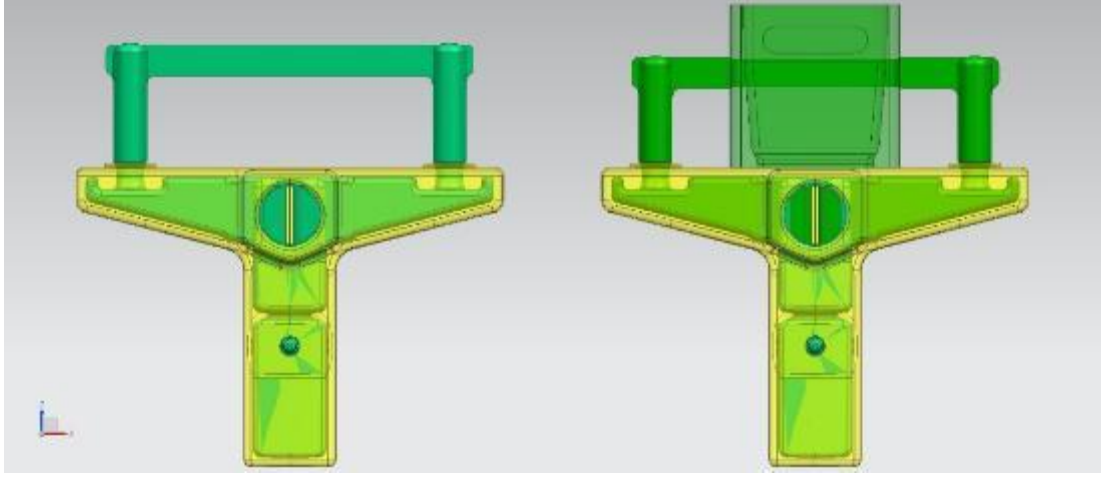
Şekil 4.2 Çıkıcı görselleri

Şekil 4.3'te gösterilen yolluk sisteminde farklı 2 tasarım mevcuttur ki bu 2 tasarımda sadece yolluk girişi (gate) diye adlandırdığımız yolluğun parçaya ilk girdiği alandır. Tasarım 1, 2, 3 ve 4'te tek kanaldan 190 mm^2 yolluk giriş alanı kullanılırken tasarım 5'te 277 mm^2 yolluk giriş alanı ile analiz çalıştırılmıştır.



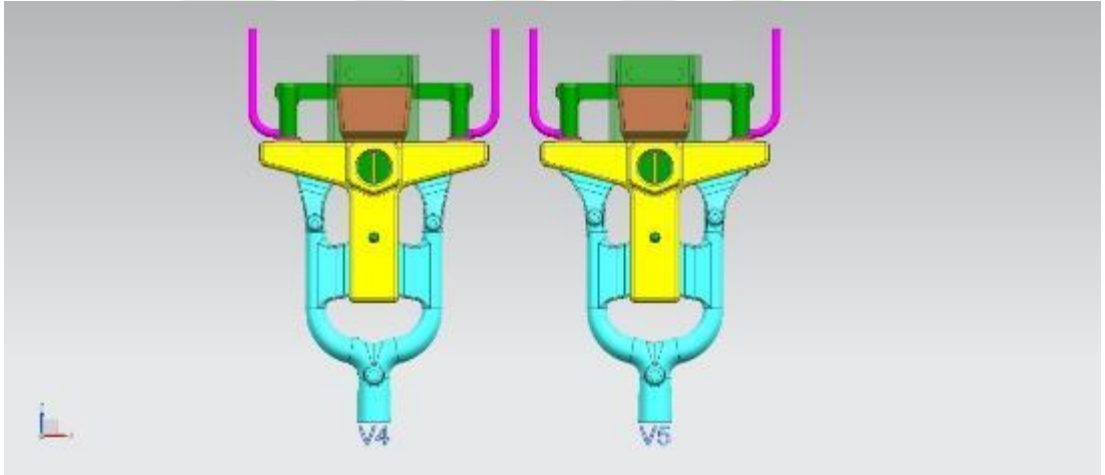
Şekil 4.3 Yolluk sistemleri

Döküm gövde içerisinde parçanın iç detaylarında bir değişiklik olmadığı için kum maça tasarımı döküm gövdesinin iç detayları tüm versiyonlar için sabit kalmıştır ancak versiyon 4 ve 5 için besleyici detayı eklenmiştir. Maça tasarımları arasındaki farklar şekil 4.4'te gösterilmiştir.



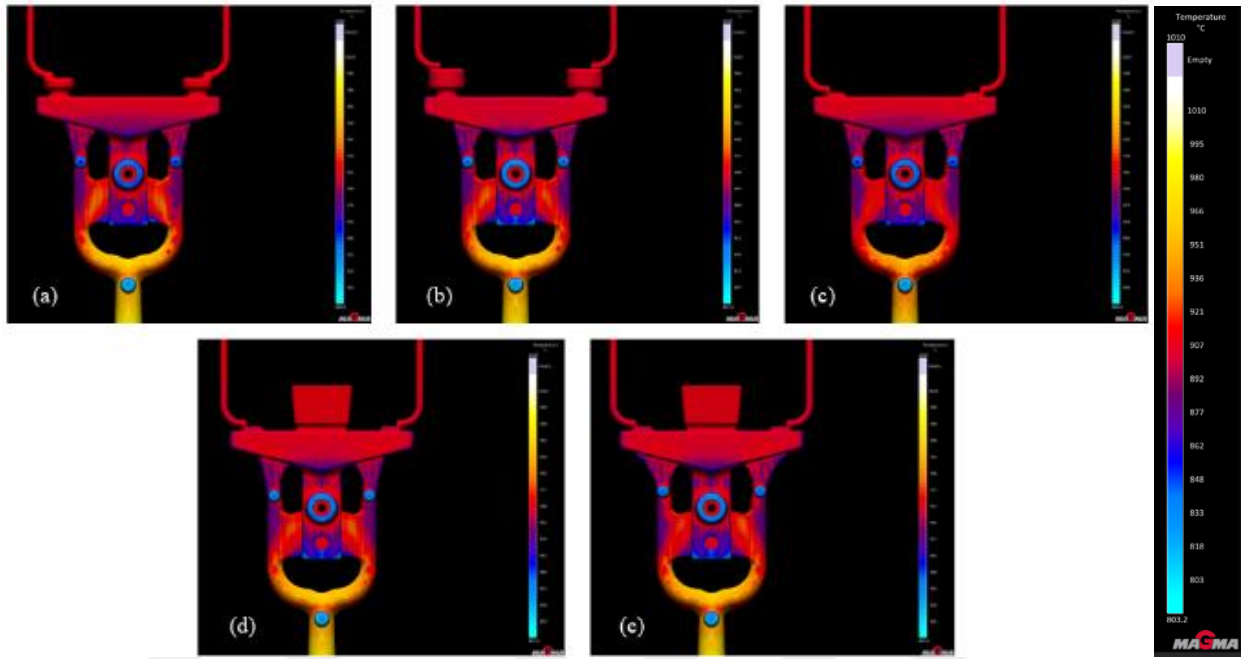
Şekil 4.4 Solda V1, V2 ve V3 için sağda V4 ve V5 kullanılacak maça tasarımları

Besleyiciler, kokil kalıbına döküm tezgahının basma süresi bittikten sonraki süreçte yer çekimi ivmesiyle döküm parçasının beslenmesini sağlar ve aynı zamanda parça üzerinde oluşabilecek poroziteli bölgelere eklendiğinde hatanın ötelenmesinde yardımcı olabilmektedir.



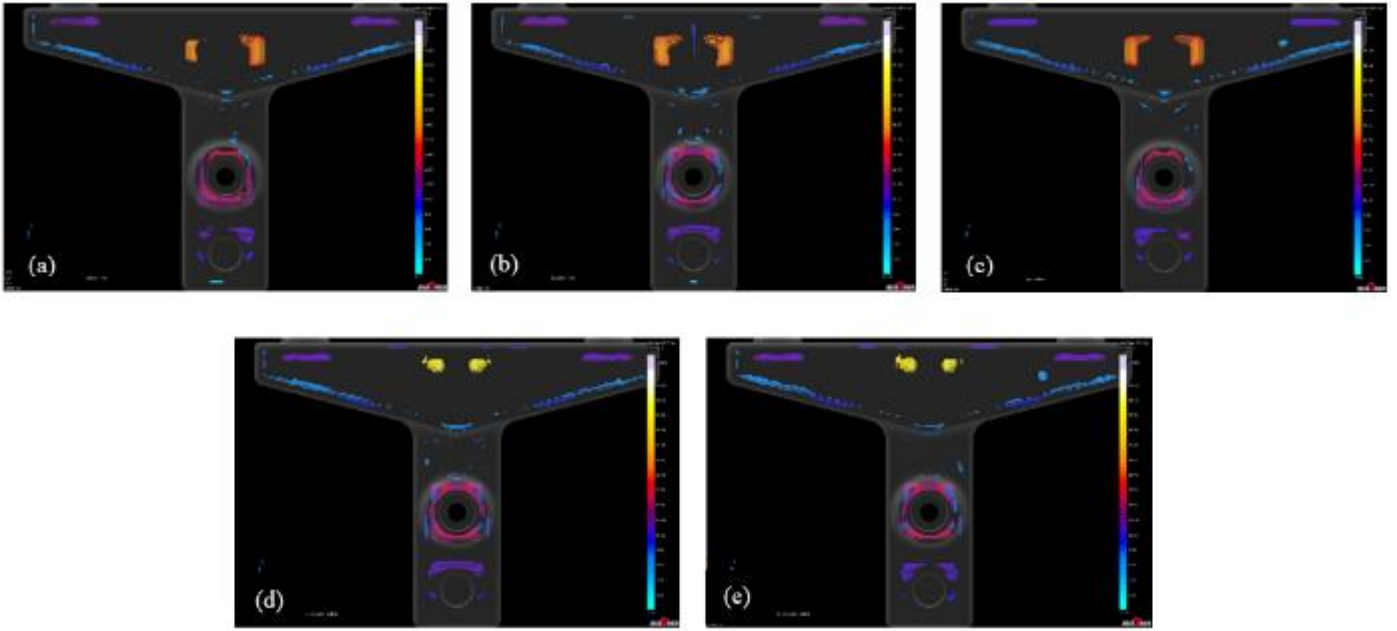
Şekil 4.5 Kartuş bölgesindeki besleyiciler (kırmızı renkli)

Şekil 4.6’da 5 farklı tasarım için yapılan dolum analizi görselleri paylaşılmıştır. Analiz sonuçlarına istinaden yukarıda girilen parametreler ile her bir tasarım dolumu tamamlamayı başarmış görünmektedir. Dolumun son anlarında soğumaya başlayan döküm gövdesinin uç detaylarında katı fazına geçiş başlamış görülmektedir.



Şekil 4.6 Farklı tasarım geometrilerine bağlı dolum esnasındaki sıcaklık analizleri
(a) Tasarım versiyon-1; (b) Tasarım versiyon-2; (c) Tasarım versiyon-3;
(d) Tasarım versiyon-4; (e) Tasarım versiyon-5

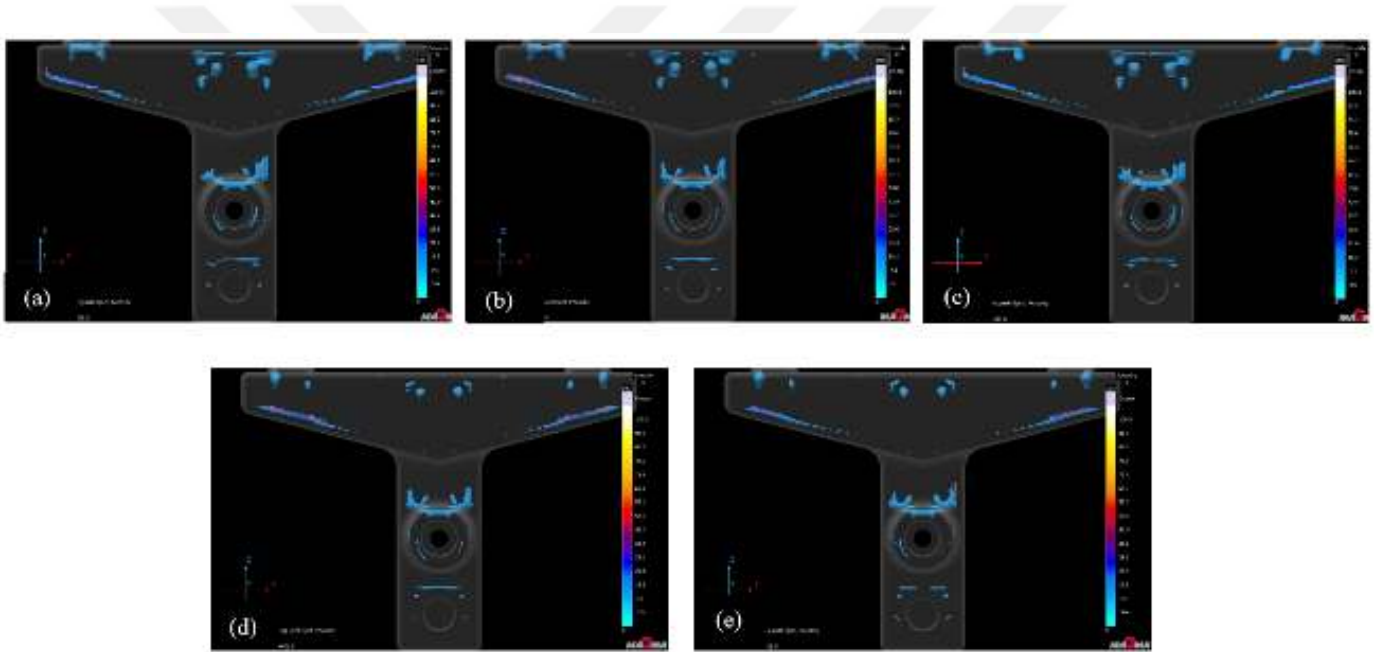
Döküm gövdesinde, tasarım gereklilikleri nedeniyle homojen olmayan et kalınlıklarının bulunması parça üzerinde farklı sıcaklık değerlerine sahip bölgelerin oluşmasına neden olmaktadır. Sıcaklık değerlerinin farklı olması ise birbirine göre geç veya önce katılaşılan bölgeleri oluşturmakta ve bu bölgelerde çekinti boşlukları meydana getirmektedir. Versiyonlar arasında geç katılaşılan bölgelerin tayini için Hot Spot Fs Time analiz çıktıları şekil 4.7’de verilmiştir.



Şekil 4.7 Farklı tasarım geometrilerine bağlı hot spot fs time analiz görüntüleri
(a) Tasarım versiyon-1; (b) Tasarım versiyon-2; (c) Tasarım versiyon-3;
(d) Tasarım versiyon-4; (e) Tasarım versiyon-5

Sıcak kalan bölgelerin dolayısıyla geç katılan bölgelerin çekinti boşluklara sebebiyet vermesiyle boşluklu yapının oluşabileceği bölgeleri de program üzerinde çözümlediğimizde parça üzerindeki malzeme yoğunluğundan dolayı kartuş bölgesinde, sıcak ve soğuk suyun girdiği bölgelerde ve yön değiştirici kısmında çekinti boşluklarının meydana gelebileceği şekil 4.7’de görülmüştür. Tasarım 1,2 ve 3 de anlamlı bir fark görülmemiş olsa da tasarım 4 ve 5’e eklenen besleyici detayı kartuş bölgesinin sıcaklığını arttırmış ancak hacminde düşüş görünmektedir.

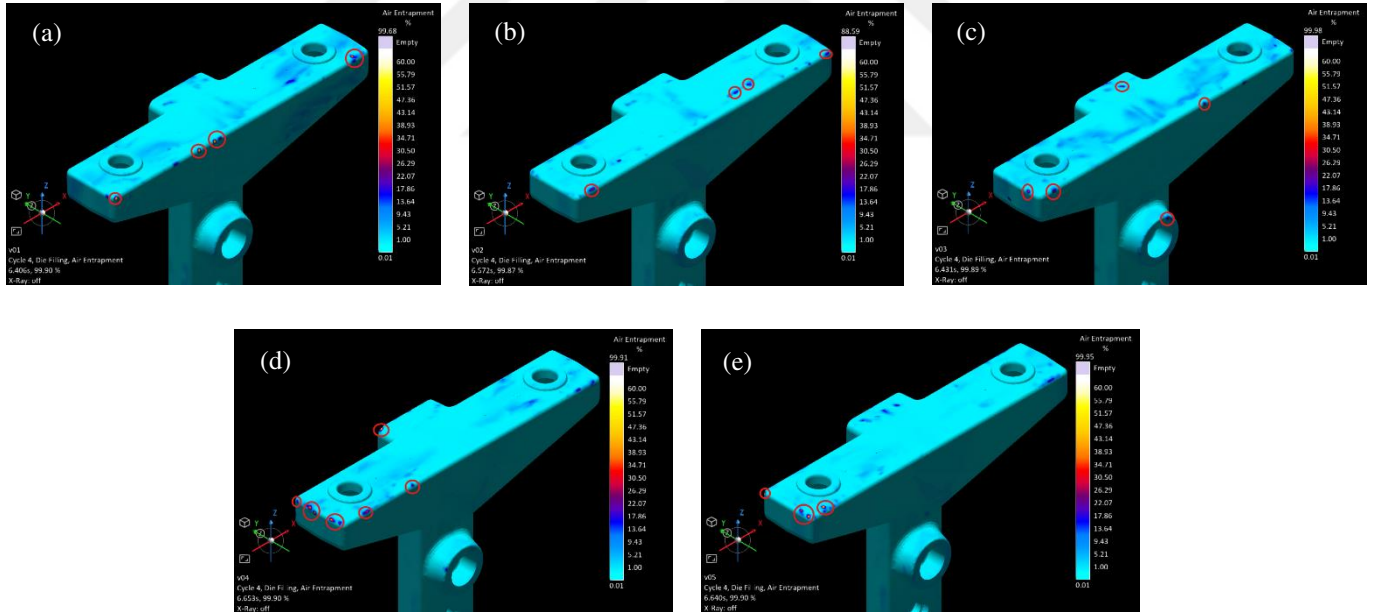
Şekil 4.8’de tüm versiyonlar için porozite değerleri görülmektedir. Batarya gövdesinde kartuş detayı kritik sayılabilecek bölgeler arasındadır. Bu bölgede o-ringler ile tabandan ve yandan olacak şekilde sızdırmazlık sağlanacaktır. Dolayısıyla yüzeylerde döküm hatalarının olması kabul edilemez ve direk ıskartaya sebep olabilmektedir. Bu sebeple o bölgede oluşabilecek versiyon 1,2 ve 3 de görülen porozite hatalarını tolere etmesi için besleyici eklenmiştir. Gövde üzerinde kartuş bölgesindeki porozite yoğunluğunun versiyon 4 ve 5’teki gibi sabit bir besleyici ekleyerek giderilmesi sağlanmıştır. Versiyon 4 ve 5’te versiyon 1,2 ve 3’ e göre anlamlı bir fark olduğu görülmüştür. Sıcak ve soğuk suyun girdiği bölgelerde ise porozite yoğunluğu, daha az hale getirilmiş ve tehlikeli sınırın altında olacak şekilde değerlendirilmiştir.



Şekil 4.8 Farklı tasarım geometrilerine bağlı porozite analiz görüntüleri
(a) Tasarım versiyon-1; (b) Tasarım versiyon-2; (c) Tasarım versiyon-3;
(d) Tasarım versiyon-4; (e) Tasarım versiyon-5

Hava sıkışması analiz görüntüleri şekil 4.9’da her bir tasarım için verilmiştir. Bir döküm parçasında hava sıkışması hatası, kalıp içerisindeki havanın düzgün tahliye edilememesinden kaynaklıdır. Bu bağlamda, iş parçasında kartuş ve su giriş detaylarına yakın bölgelerde hava sıkışması gözlemlenmiştir. Şekil 4.10’daki paralel koordinat grafiğine bakıldığında tasarım 2’nin belirli bir bölgesinde %88,59’a varan hava kabarcıkları tespit edilmiştir. Diğer tasarımlarda ise bu değer %99,98’e kadar tespit edilmiştir. Bu nedenle 2. tasarım hava tahliyesinde diğer versiyonlardan önde olarak tanımlanmıştır.

Simülasyon sonuçlarındaki porozite sonuçları tamamen katılaşma esnasında yeterli beslemenin yapılamaması nedeniyle oluşan çekinti boşluklarını göstermektedir ve hava boşlukları (hava sıkışması) ile karıştırılmamalıdır. Dolayısıyla şekil 4.10’daki paralel koordinat grafinde verilen tasarım 2’nin hava sıkışmasının düşük çıkıp porozite değerinin yüksek olması birbirinden bağımsız olup, normal karşılanabilir.

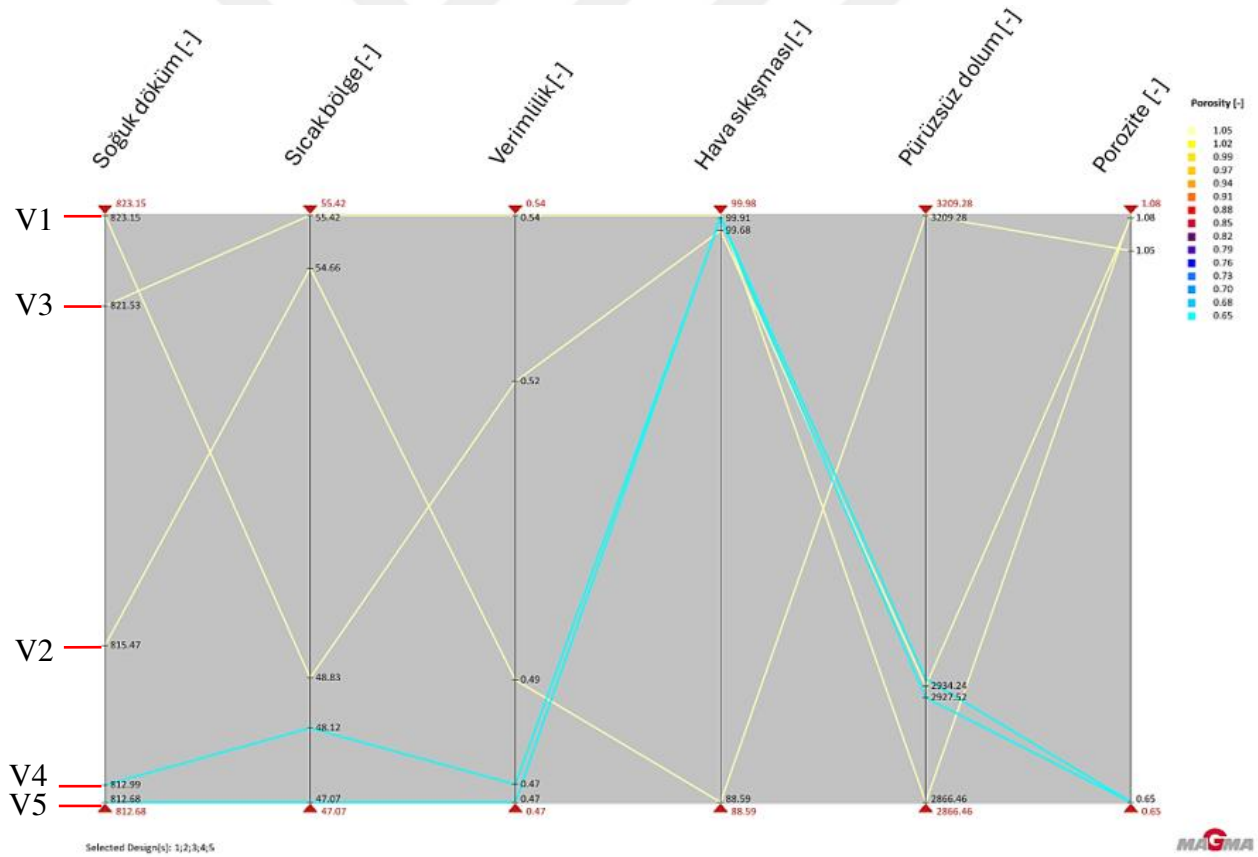


Şekil 4.9 Farklı tasarım geometrilerine bağlı hava sıkışması analiz görüntüleri
 (a) Tasarım versiyon-1; (b) Tasarım versiyon-2; (c) Tasarım versiyon-3;
 (d) Tasarım versiyon-4; (e) Tasarım versiyon-5

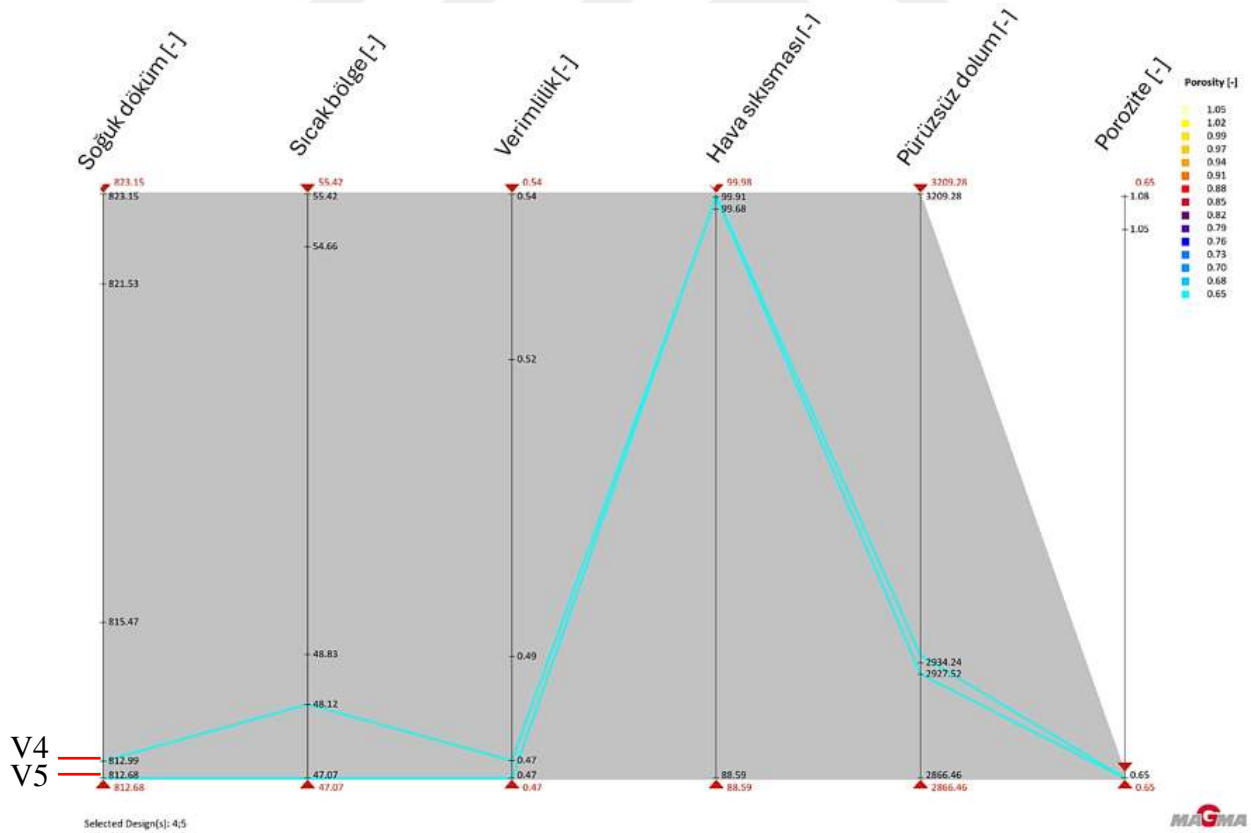
Tablo 4.1. Döküm ağırlık değerleri

Yöntem	Tasarım 1 (kg)	Tasarım 2 (kg)	Tasarım 3 (kg)	Tasarım 4 (kg)	Tasarım 5 (kg)
Döküm	1,79	1,79	1,79	1,79	1,79
Besleyici	0,22	0,48	0,10	0,57	0,57
Yolluk	1,42	1,42	1,42	1,42	1,43
Toplam	3,43	3,69	3,31	3,78	3,79

Döküm ve döküme yardımcı alt parçaların ağırlıkları tablo 4.1’te verilmiştir. Banyo bataryası gövdesinde tüm versiyonlar için herhangi bir tasarım değişikliğinde bulunulmamıştır dolayısıyla sabit 1,79 kg’dır. Çıkıcılarda detaylarında ilk 3 versiyonda farklı tasarımlar ile devam edilmiştir. Versiyon 4 ve 5 için ise kartuş alanında ek besleyici ile toplam ağırlığı 0,57 kg olmuştur. 2 farklı yolluk tasarımı bu çalışma için geçerli olmuştur ve aralarında 0,01 kg ağırlık farkı söz konusudur.

**Şekil 4.10** Paralel koordinat grafiği-1

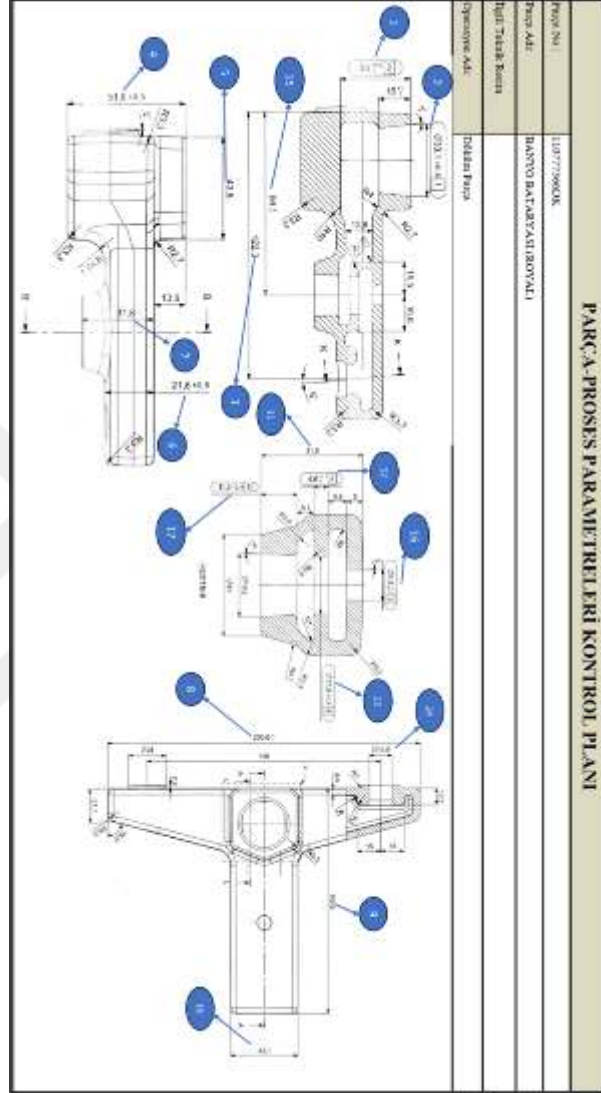
Şekil 4.10'daki paralel koordinat grafiğine bakıldığında, versiyonlar arasındaki döküm hatalarının sonuçları gösterilmiştir. Buna göre soğuk döküm, sıcak bölge, verimlilik, hava sıkışması, pürüzsüz dolum ve porozite değeri arasında versiyonlar değerlendirilmiştir. Döküm gövdesi üzerinde önemli bölgelerdeki porozite hatalarının direk ıskartaya sebebiyet vereceğinden en az değere sahip versiyon belirlenecektir. Bu bağlamda porozite değerini 1.05'in altına çekildiğinde şekil 4.11'de ilk 3 versiyon elenmiş ve versiyon 4 ve versiyon 5 kalmıştır. Tasarım 4 ve 5 arasındaki tek farkın yolluk giriş detaylarının farklı olması durumunda grafikteki değerlerde hava sıkışması ve poroziteye etkisinin olmadığını ancak sıcak bölgenin bir miktar tasarım 4'te arttırmış olduğunun onun dışında yine az miktarlarda soğuk döküm, verimlilik ve pürüzsüz dolumda tasarım 4'ün daha önde oldu belirlenmiştir. Tasarım 4'ün 5'e göre sıcak bölgesindeki artışın sebebi yolluk yüzey alanının daha az olması dolayısıyla ısı transferinde daha yavaş olmasıdır. Öte yandan versiyon 4'teki giriş ile soğuk döküm, verimlilik ve pürüzsüz dolum değerleri çok az farkla iyi çıkmıştır.



Şekil 4.11 Paralel koordinat grafiği-2

4.2 Boyutsal Ölçülerinin Değerlendirilmesi

Döküm gövdenin ölçüsel kontrolleri, 3 boyutlu katı modelin tasarımı Siemens NX 12 programında yapıldıktan sonra yine aynı tasarım programında 2 boyutlu teknik resmi oluşturulmuştur.



Şekil 4.12 Döküm gövdesi taslak teknik resmi

Şekil 4.12’de verilen taslak teknik resmindeki ölçülerin değerleri excel tablosuna çekilmiş ve kritik ölçüler belirlenmiştir. Belirlenen ölçüler tablo 4.2’de verilmiştir. Yapılan çalışmada, kritik öneme sahip olan ölçülerin tolerans değerleri arasında kaldığı görülmüştür.

Tablo 4.2 Ölçüm Raporu

Kritik Ölçüm No	İstenen Kriter	Ölçüm Toleransı		Ölçüm Sonuçları	KONTROL SONUCU	Ölçüm Cihazı Tanımı
		Min.	Max.	1.Ölçüm	Uygun: ✓ Uygun Değil: ✗	
1	$33^{0.5}_{-0.1}$	32,9	33,5	33,3	✓	Kumpas
2	$\varnothing 33,1^{\pm 0.5}$	32,6	33,6	33	✓	Kumpas
3	122,3	121,8	122,8	122	✓	Kumpas
4	$51,8^{\pm 0.5}$	51,3	52,3	51,3	✓	Kumpas
5	43,5	43,2	43,8	43,6	✓	Kumpas
6	$21,6^{\pm 0.5}$	21,1	22,1	21,2	✓	Kumpas
7	31,8	31,5	32,1	31,55	✓	Kumpas
8	$200,6^{0}_{-1}$	199,6	200,6	199,6	✓	Kumpas
9	140,6	140,1	141,1	140,1	✓	Kumpas
10	43,1	42,8	43,4	42,8	✓	Kumpas
11	31,8	31,5	32,1	31,80	✓	Kumpas
12	$4,6^{0.4}_{-0}$	4,6	5	4,90	✓	Kumpas
13	$\varnothing 17,5 \pm 0.5$	17	18	17,60	✓	Kumpas
14	$\varnothing 14,5$	14,3	14,7	14,4	✓	Kumpas
15	84^{0}_{-1}	83	84	83,8	✓	Kumpas
16	$\varnothing 9,3^{0.2}_{-0.5}$	8,8	9,5	9,3	✓	Kumpas
17	$11,3^{\pm 0.4}$	10,9	11,7	11,7	✓	Kumpas

4.3 Deney G6vdesi ile Bilgisayar Ortamındaki 3B Modelin Taranan

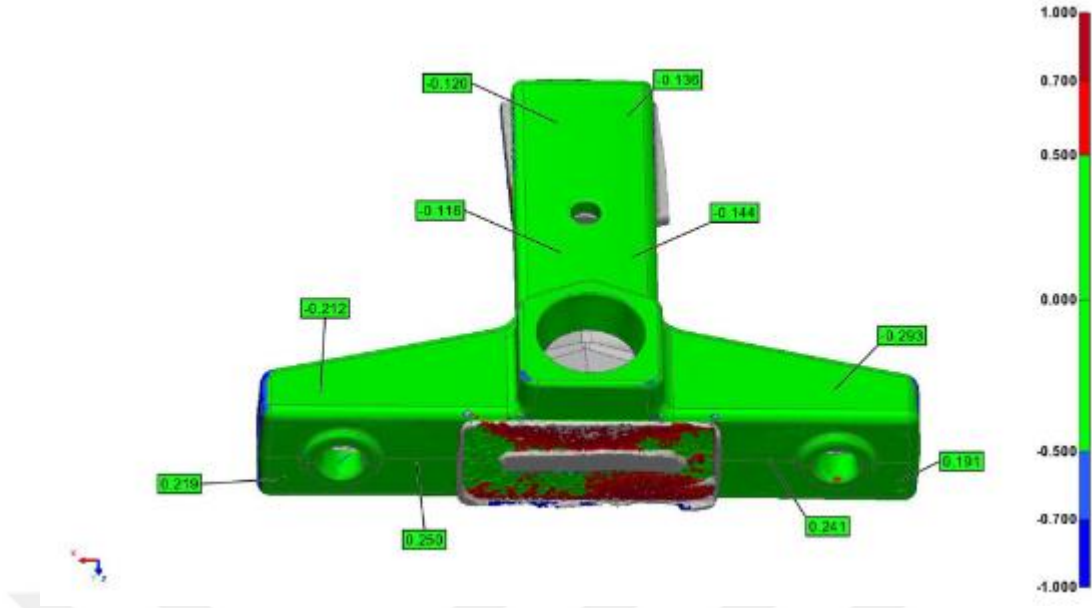
G6r6nt6s6n6n Karşılaştırılması

Handyscan ile taraması yapılan d6k6m g6vdesinin, Siemens NX 12 programında 3 boyutlu tasarım yapılan model ile 6st 6ste koyularak karşılaştırma analizi yapılmıştır. İlk olarak d6k6m g6vde bilgisayar ortamına aktarılmak 6zere manuel olarak kullanılan tarama cihazı ile şekil 4.13'teki gibi taranmaktadır.



şekil 4.13 Tarama işleminden bir g6r6nt6

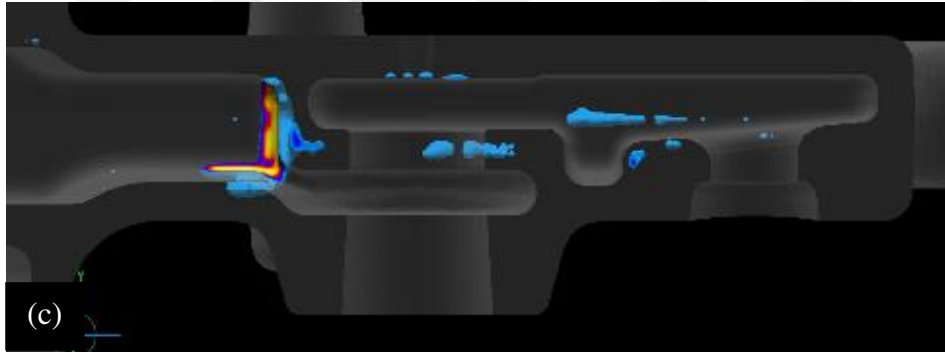
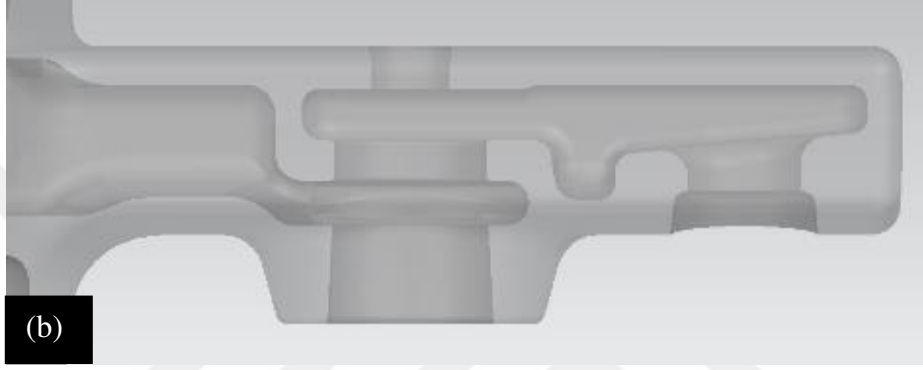
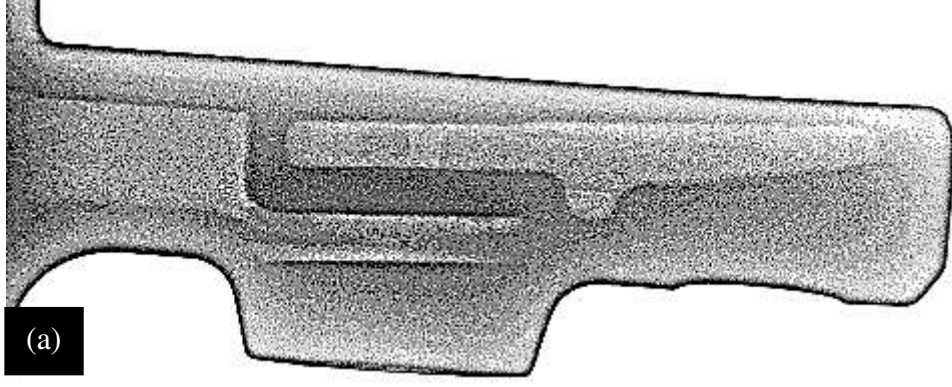
Taranan modelin 3 boyutlu versiyonu bilgisayar ortamına aktarıldıktan sonra mevcuttaki d6k6m prosesine uygun olarak tasarlanmış g6vde parçası ile 6st 6ste merkezleyip 6lç6sel analizi şekil 4.14'teki gibi yapılmıştır. Program 6zerinden belirli noktalardan 6lç6m değerleri alınmış ve bu değerler kontrol edilmiştir. Alınan değerler ile 6lç6m raporundaki değerlerde anlamlı sonuçlar bulunmuştur.



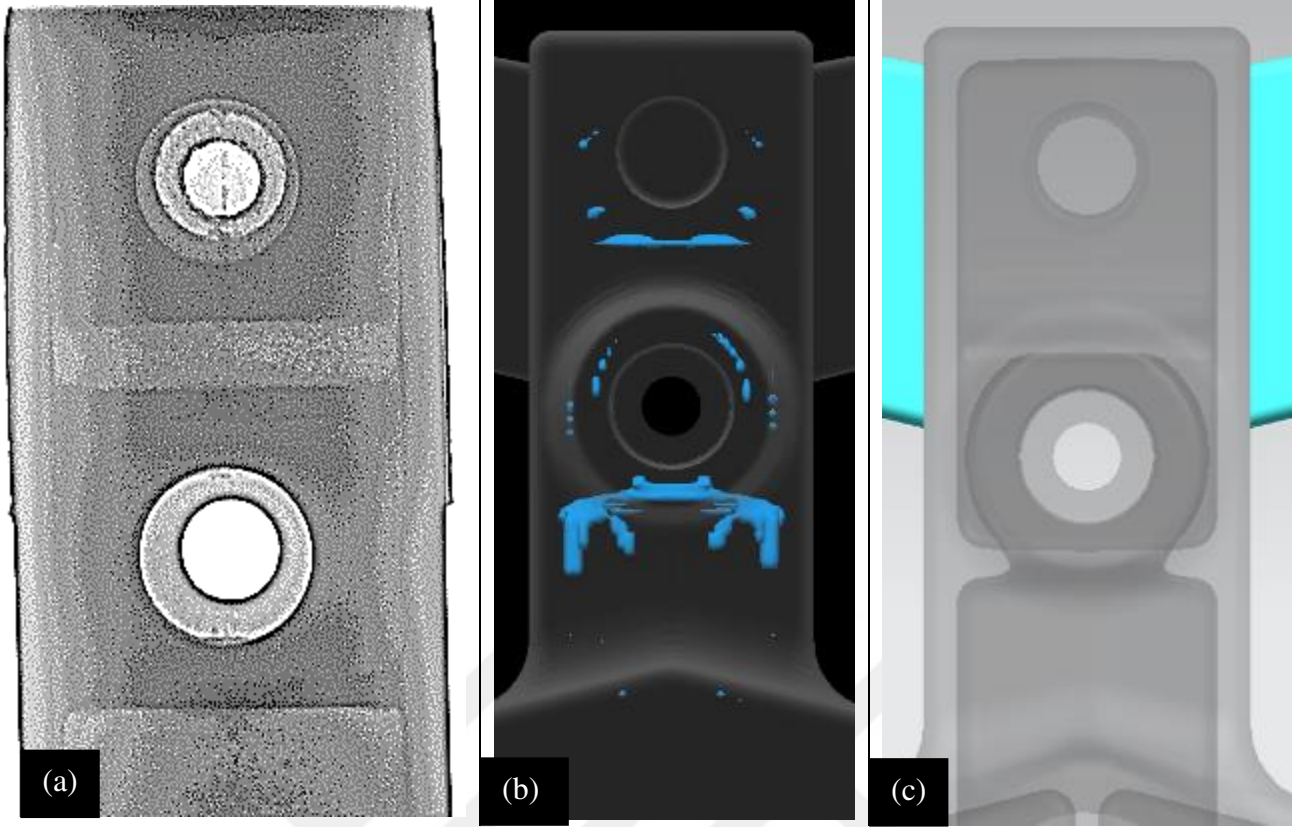
Şekil 4.14 Tarama işlemi ölçüm değerleri

4.4 Radyografik Muayene ile Simülasyon ve Deneysel Üretimin İncelenmesi

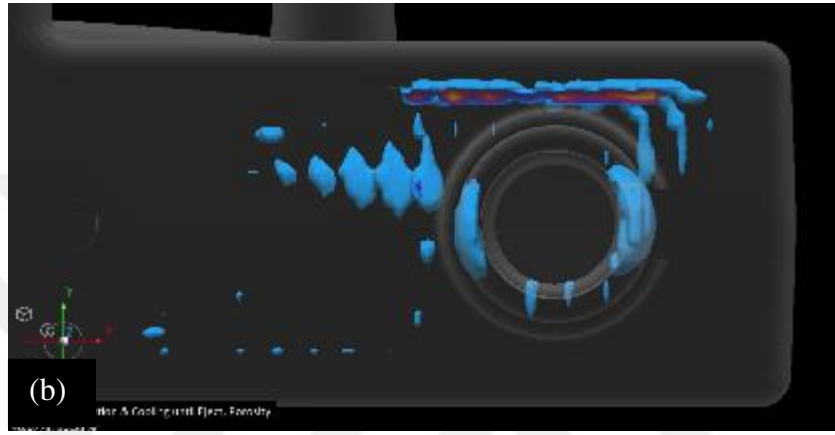
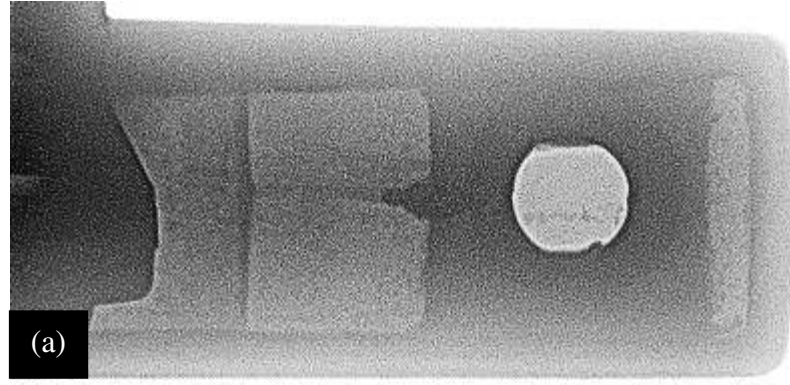
İş parçasından alınan radyografik muayene görüntüsü ile analiz programında elde ettiğimiz görüntüler ve tasarım programında taslak tasarımının olduğu katı modeli transparan bir görüntü alınarak şekil 4.15, 4.16, 4.17 ve 4.18’de karşılaştırılmıştır. Döküm gövdesinin çıkış ucu tarafında yön değiştirici detayına yakın bölgedeki radyografik incelemelerde dikkati çeken bazı küçük kontrast farkları görülmüştür. Radyografik incelemedeki bu göreceli karanlık bölgeler döküm boşluk ve çekintilerini temsil edebilir. Bu bağlamda oldukça kalın kesitli ve büyük iş parçalarında mikroskop altında odaklanması gerek bölgeler tespit edilmiştir.



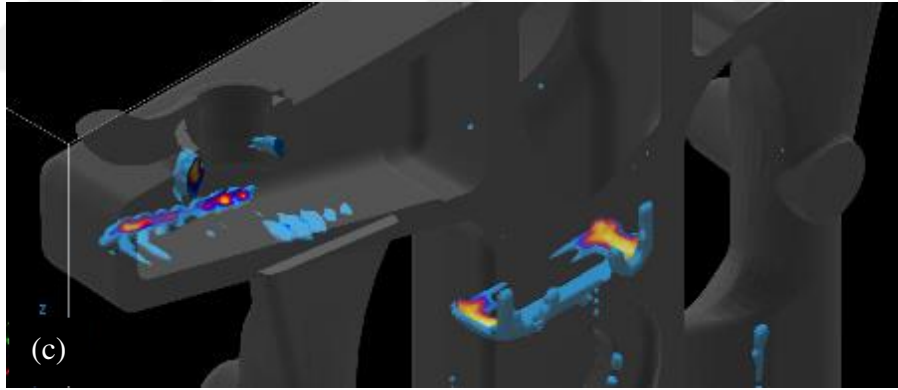
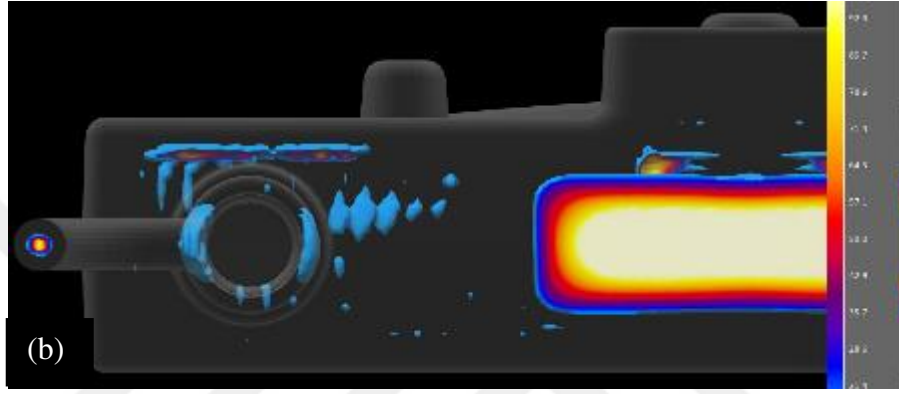
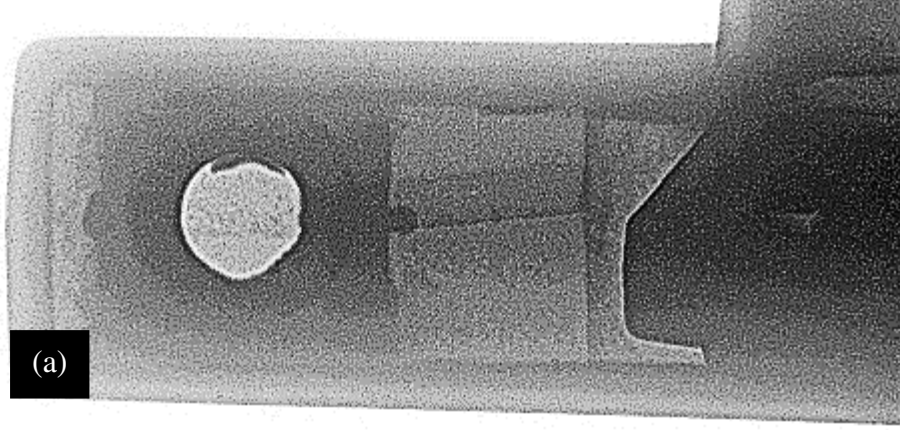
Şekil 4.15 Döküm gövdesinin çıkış ucu ve yön değiştirici detaylarının görüntüsü



Şekil 4.16 Döküm gövdesinin çıkış ucu ve yön değiştirici detaylarının alttan görüntüsü

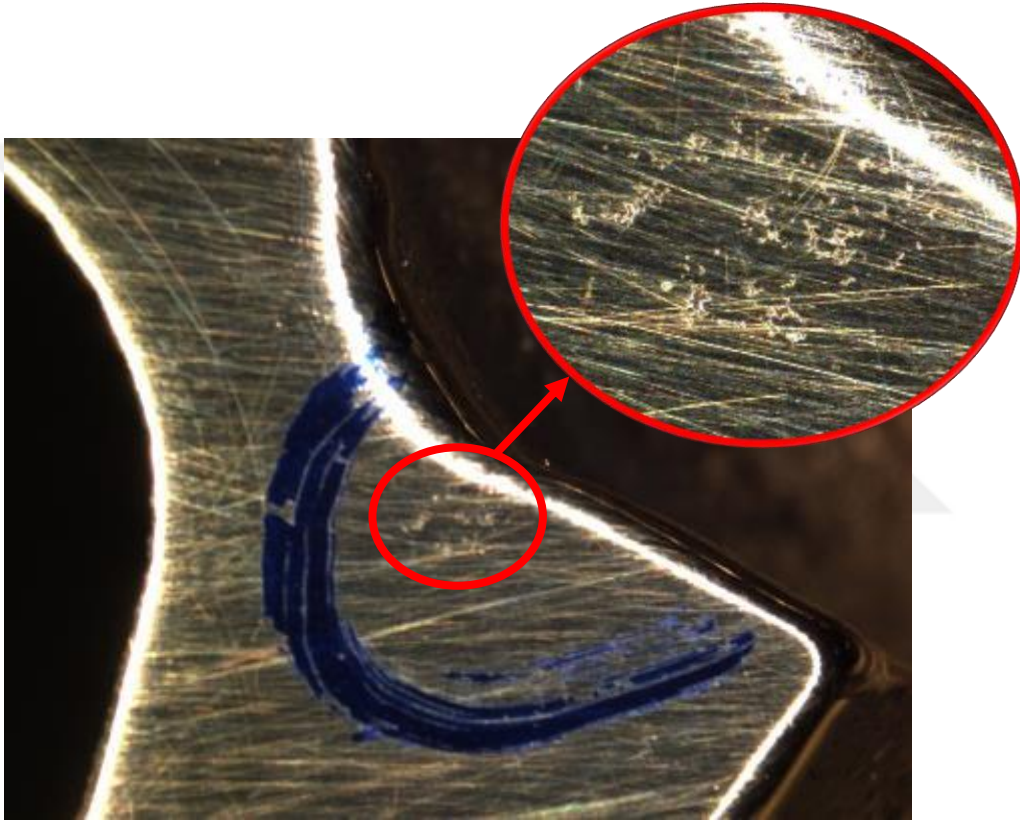


Şekil 4.17 Döküm gövdesinin su giriş detayı görüntüsü-1

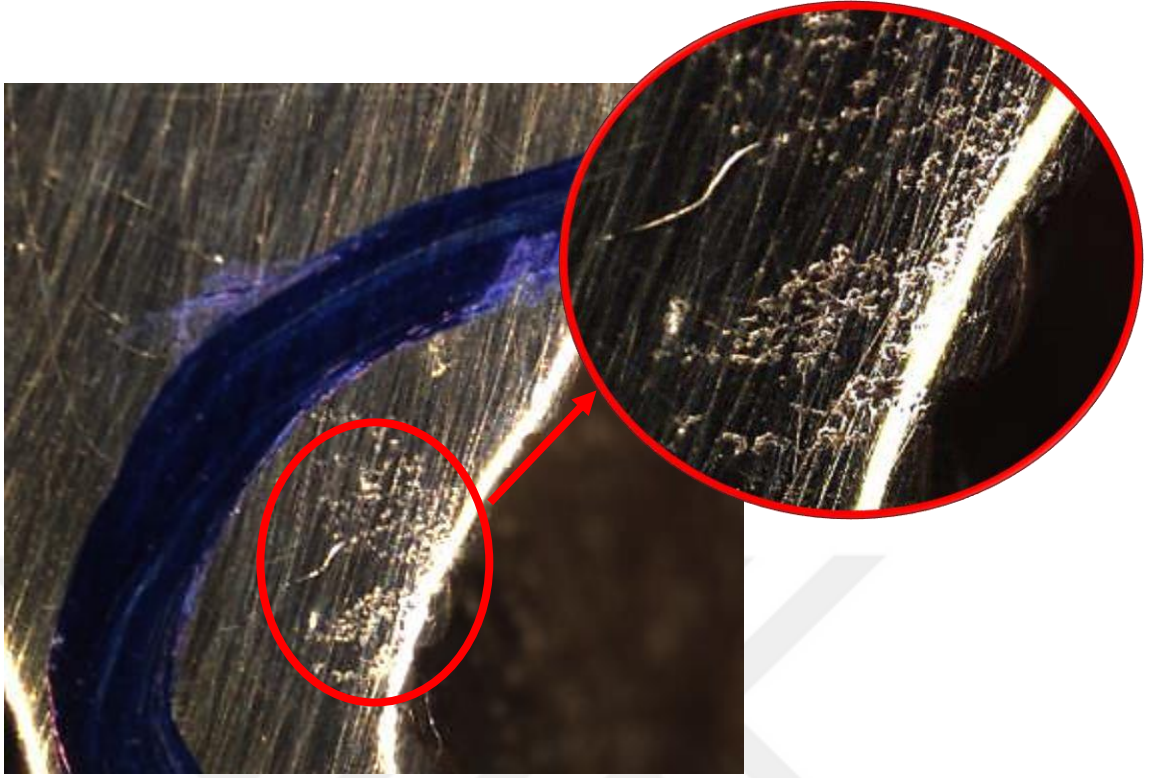


Şekil 4.18 Döküm gövdesi su giriş detayı görüntüsü-2

Odaklanılması gereken yerlerin tespitinin yapılmasının ardından polisaj atölyesinde iş parçasından, kademeli olarak talaş kaldırarak hatalar aranmıştır. Tespit edilen bölgelerin stereo mikroskop altındaki görüntüleri şekil 4.19 ve 4.20’de verilmiştir. Radyografik muayene görüntülerine kıyasla stereo mikroskop görüntülerinde de benzer bölgelerde gözeneklerin varlığı tespit edilmiştir. Elbette mikroskop altında incelenen bölge 2 boyutludur dolayısıyla bu gözeneklerin derinlik boyunca büyüklüğü değişecektir. İş parçasının salkım halinin görselleri ve kesit görüntüleri şekil 4.21, 4.22, 4.23 ve 4.24’te verimiştir.



Şekil 4.19 Yön değiştirici bölgesi sağ kesitten alınan stereo mikroskop görüntüsü



Şekil 4.20 Yön değıştirici bölgesi sol kesitten alınan stereo mikroskop görüntüsü



Şekil 4.21 Salkım halindeki döküm gövdenin üstten görüntüsü



Şekil 4.22 Salkım halindeki döküm gövdenin alttan görüntüsü



Şekil 4.23 Döküm gövdesinin kartuş ekseninden kesit görüntüsü



Şekil 4.24 Su giriş detaylarının kesit görüntüsü

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, pirinç hammaddeye sahip bir banyo bataryasının alçak basınçlı döküm yöntemi ile yüksek verim ve en düşük ıskarta veya sıfır hata ile dökülebilmesi için farklı tasarımlar ile analiz çalışması yapılmıştır. Simülasyon sonuçlarının sonucunda tasarımlar arasından en uygun olan versiyon 4 numaralı tasarım ile ön seri dökümü gerçekleştirilmiştir. Ön seride dökülen gövdelerin görsel kontrolleri, ölçüsel kontrolleri, sızdırmazlık testleri ve x-ray görüntüleme raporları değerlendirilmiştir. Analiz sonuçlarından yola çıkılarak, döküm gövdesinin ön seri aşamasına alınmasına karar verilmiş ve ürün 200 adet olarak dökülmüştür.

- Çalışmada ürününün 3 boyutlu tasarımı Siemens NX 12 programında yapılmıştır. Simülasyon çalışmaları için MAGMASOFT 6.0 programı kullanılmıştır.
- 5 farklı tasarım ile yapılan bu çalışmada, döküm sürecinin ilk 3 tasarım için porozite analizlerinde çıkan çekinti boşluklarının uygun olmadığı belirlenmiştir.
- 3. tasarımın devamı olarak 4. ve 5. tasarımlarda eklenen besleyici detayının, döküm gövdesinin kartuş bölgesindeki porozite değerini düşürdüğü gözlemlenmiştir.
- 5. tasarımın 4. tasarımdan farklı olarak yolluk giriş alanları %45,8 oranında arttırılmıştır. Analiz sonuçlarında, bu fark iki versiyon arasında anlamlı bir sonuç göstermemiştir.
- İş parçası üzerinde yapılan sızdırmazlık test sonuçlarında herhangi bir kaçak gözlemlenmemiştir.
- Döküm gövdesinden alınan radyografik muayene görüntüleri ve analiz sonuçlarının dikkati çektiği bölgelerde kademeli olarak talaş kaldırılıp parlatma işlemi yapılmış, iş parçasının çıkış ucu tarafındaki yön değiştirici bölgesinde gözenekler saptanmıştır.
- Saptanan bu gözenekler stereo mikroskop altında incelenmiş ve varlığı kanıtlanmıştır.
- Bilgisayar ortamında yapılan analiz sonuçları, uygulamada gerçekleştirilmiş olup, ikisi arasındaki farklılıklar gözlemlenmiştir. Çalışmayı farklı parametreleri değiştirerek daha iyi bir mertebeye taşımak elbette ki

mümkündür. Elde edilen sonuçlar seri üretime uygun olacak şekilde değerlendirilmelidir.

- Yolluk, besleyici ve çıkıcıların optimum tasarlanması döküm gövdesinin kalitesini doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle birden fazla, farklı tasarımlar ile simülasyon sonuçları değerlendirilmiş ve en iyi versiyon ile devam edilmiştir.
- Dökümcülük sektöründe yeni ürünlerin hızlı, verimli ve rekabetçi olmaları ancak multi disipliner yaklaşımların bir araya gelmesi ile mümkündür.
- Analiz programları her ne kadar (FDM) sonlu farklar metodu ve (CFD) hesaplamalı akışkanlar dinamiği formüllerini kullanarak çözümlemeler yapıyor olsa da yapılan çözümlerin %100 kesin olarak değerlendirilmezler, sonuçlar aslında bir yaklaşımdır. Sürecin akışını değerlendirmede yardımcı olur. Bu noktada dikkat edilmesi gerek husus, tasarım-analiz çalışmasını yürüten kişilerin geçmişe dayalı bilgi ve tecrübeler devreye girecektir. Tasarımcının yapacağı yorumlar çözümlere ışık tutacaktır.
- Yapılacak tasarım değişikliklerin iş güvenliği, seri üretim hızı, personel kapasitesi vb. parametrelerin de göz önünde bulundurulması gerekmektedir.
- Geometrik detayların optimum büyüklükte olması verimlilik ve malzeme tasarrufu açısından faydalı olmaktadır.
- Yapılacak tasarımların boyutlarının düzgün belirlenmesi analiz sonuçlarının değerlendirilmesi zaman kayıplarının önüne geçilmektedir.
- Her ürün amacı doğrultusunda kendine özgü tasarımsal olarak farklı detaylar içerir. Dolayısıyla ürünlerin hepsi için ayrı ayrı analiz çalışmaları yapılmalıdır.

Bu çalışmanın devamı niteliğinde;

- Farklı alaşım oranlarına sahip Cu-Zn alaşımının döküm prosesine etkileri yapılabilir,
- Benzer tasarımlara sahip döküm gövdesinin farklı işlem sıcaklıklardaki dökülebilirliği yapılabilir,
- Daha düzgün bir dolum elde etmek için tasarlanan yolluk giriş detaylarının döküme etkisinin gözlemlenmesi yapılabilir,

- Geç katılaşmanın önüne geçilmesi için yapılacak soğutucu görevi gören tasarım detaylarının araştırılması (gövde ve/veya yolluk üzerinde olabilir) yapılabilir,
- Verimi arttırabilmek için mevcut yolluğun ağırlığının azaltılması çalışması yapılabilir,
- Hangi boyutlardaki çekinti boşlukları döküm gövde üzerinde fonksiyonel özelliğini kaybetmesine sebebiyet verebilir şeklindeki konularda çalışılabilir.



KAYNAKLAR

- Albaksan Alaşımlı Bakır. (2023). “*CuCoNiBe Alaşımı Fiziksel ve Mekanik Özellikleri*”. Erişim: 15/08/2023. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://www.albaksan.com/tr/>
- Aran Ahmet. (2007). “*Döküm Teknolojisi Ders Notları*”.
- Aravind, S., Ragupathi, P., & Vignesh, G. (2020). “Numerical and experimental approach to eliminate defects in al alloy pump- crank case processed through gravity die casting route”. *Materials Today: Proceedings*, 37(Part 2), 1772-1777. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.07.365>
- ASBW. (2023). “*CuZn39Pb1-B Bakır-Çinko Alaşımı Mekanik ve Fiziksel Özellikleri*”. ASBW. Erişim: 11/05/2023. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://www.asbw.pt/en/products/ingots/54/>
- Aydın Ramazan. (2022). “*Ticari Araçlarda Kullanılan Yapısal Elemanın Alçak Basınçlı Döküm Yöntemiyle Alüminyum Alaşımdan Üretilebilirliğinin İncelenmesi*” [Yüksek Lisans Tezi]. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Aydoğan, Y., & Karataş Ertan, Ö. (2022). “Az Alaşımlı Çelikten Üretilen Yatak Başlığının Kum Kalıba Döküm Optimizasyonu”. *Makina Tasarım ve İmalat Dergisi*, 20, 12-15.
- B. IŞIK Samed. (2021). “Yüksek Basınçlı Döküm Yöntemi ile Alüminyum Alaşımlı Otomobil Jant Üretiminin Modellenmesi” [Yüksek Lisans Tezi]. İçinde *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi* (C. 3, Sayı 1). Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Baran, F., Ozel, A., Ertürk, S. Ö., & Camur, E. C. (2022). “Dökme Demirlerde Döküm Simülasyonu Yazılımı ile Dart Hatası Oluşumunun Analizi ve Önlenmesi”. *Bayburt Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 5(1), 26-31. <https://doi.org/10.55117/bufbd.1036170>
- Bayram Tolunay. (2023). “*Mezopotamya ve Levant'ta Suyun Tarihi ve Susuzluk*”. Arkeofili. Erişim: 20/08/2023. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://arkeofili.com/mezopotamya-ve-levantta-suyun-tarihi-ve-susuzluk/>
- Breslavsky Dmitry. (2023). “*CK45 Alaşımı Mekanik Özellikleri*”. Erişim: 10/08/2023. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://www.steelnumber.com/>
- Candeğer K. Can. (2001). Dökümde Besleyiciler ve Ekzotermik Besleyici Malzemeler. *T.M.M.O.B. Metalurji Mühendisleri Odası*, 126, 5-12.
- Cleary, P. W., Ha, J., Prakash, M., & Nguyen, T. (2006). “3D SPH flow predictions and validation for high pressure die casting of automotive components”. *Applied*

- Creaform. (2023). “*HandySCAN 3D Black Series Tarama Cihazı*”. Erişim: 10/11/2023. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://www.creaform3d.com/en/portable-3d-scanner-handyscan-3d>
- Dabade, U. A., & Bhedasgaonkar, R. C. (2013). “Casting defect analysis using design of experiments (DoE) and computer aided casting simulation technique”. *Procedia CIRP*, 7, 616-621. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2013.06.042>
- El Mehtedi, M., Mancia, T., Buonadonna, P., Guzzini, L., Santini, E., & Forcellese, A. (2020). “Design optimization of gate system on high pressure die casting of AlSi13Fe alloy by means of finite element simulations”. *Procedia CIRP*, 88, 509-514. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.05.088>
- Eşiyok, A. (2011). “*Hassas Dökümde Kullanılan Mum Kalıbında Besleme Yolluklarının Yerinin 3 Boyutlu Optimizasyonu*” [Yüksek Lisans Tezi]. Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze.
- Gözen Ahmet. (2007). “*Basınçlı Döküm Kalıplarında Yolluk Sistemlerinin Tasarımı ve Simülasyonun İncelenmesi*” [Yüksek Lisans Tezi]. Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Guo, Z., Saunders, N., Schillé, J. P., & Miodownik, A. P. (2009). “Material properties for process simulation”. *Materials Science and Engineering: A*, 499(1-2), 7-13. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2007.09.097>
- Gültekin Nurullah. (2011). “*Etial 150 Alüminyum Alaşımının Talaşlı İşlenebilme ve Mekanik Özelliklerine Enjeksiyon Parametrelerinin Etkisi*” [Yüksek Lisans Tezi]. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Hu, B. H., Tong, K. K., Niu, X. P., & Pinwill, I. (2000). “Design and optimisation of runner and gating systems for the die casting of thin-walled magnesium telecommunication parts through numerical simulation”. *Journal of Materials Processing Technology*, 105, 128-133.
- Işık Samet Berker. (2021). “*Basınçlı Döküm Yöntemi ile Alüminyum Alaşımlı Otomobil Jant Üretiminin Modellenmesi*” [Yüksek Lisans Tezi]. Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Jin, C. K., & Kang, C. G. (2012). “Fabrication by vacuum die casting and simulation of aluminum bipolar plates with micro-channels on both sides for proton exchange membrane (PEM) fuel cells”. *International Journal of Hydrogen Energy*, 37(2), 1661-1676. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2011.10.050>
- Kahraman, H., Hayri Keser, İ., Kemal Tozan, M., & Cöcen, Ü. (t.y.). “*Besleyici Kaynaklı Döküm Hataları*” [Yüksek Lisans Tezi]. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

- Kalyoncu Salih. (2020). “*Alüminyum Alaşımlarda Alçak Basıncılı Döküm Simülasyonu*” [Yüksek Lisans Tezi]. Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa.
- Karfo Endüstriyel. (t.y.). *Nikon SMZ 745T Stereo Mikroskop*. 2024. Erişim: 10/05/2024. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://www.karfo-endustriyel.com.tr/tr/urunler/endustriyel-mikroskoplar/stereo-mikroskoplar/nikon-smz-745t>
- Kejzlar, P., Machuta, J., & Nová, I. (2017). Comparison of the Structure of CuZn40MnAl Alloy Casted into Sand and Metal Moulds. *Manufacturing Technology*, 17, 44-48. <https://doi.org/10.21062/ujep/x.2017/a/1213-2489/MT/17/1/44>
- Kenar, O. (2019). “*Yüksek Basıncılı Döküm Prosesi ile Üretilen Alüminyum Otomotiv Parçalarında Kalıp Tasarım Değişikliklerinin Parça Döküm Kalitesi Üzerine Etkilerinin Araştırılması*” [Yüksek Lisans Tezi]. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Kor, J., Chen, X., Sun, Z., & Hu, H. (2011). “Casting design through multi-objective optimization”. *IFAC Proceedings Volumes (IFAC-PapersOnline)*, 44(1 PART 1), 11642-11647. <https://doi.org/10.3182/20110828-6-IT-1002.01726>
- Luo, A. A., Sachdev, A. K., & Apelian, D. (2022). “Alloy development and process innovations for light metals casting”. İçinde *Journal of Materials Processing Technology* (C. 306). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2022.117606>
- Magmasoft. (2023). “*Magmasoft Türkiye*”. Erişim: 10/09/2023. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://www.magmasoft.de/en/>
- Megep. (2014). “*Makine Teknolojisi Yolluk Sistemleri*”. T.C. Milli Eğitim Bakanlığı.
- Merlin, M., Timelli, G., Bonollo, F., & Garagnani, G. L. (2009). “Impact behaviour of A356 alloy for low-pressure die casting automotive wheels”. *Journal of Materials Processing Technology*, 209(2), 1060-1073. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2008.03.027>
- Niebel B. W., D. A. B. , W. R. A. (1989). “Modern Manufacturing Process Engineering”. İçinde *McGraw-Hill Publishing Company, London*.
- Nişancı, M. C., & Yurddaş, A. (2021). Numerical and experimental determination of the heat transfer coefficient at the casting-mould interface. *International Journal of Mathematical Modelling and Numerical Optimisation*, 11(4). <https://doi.org/10.1504/ijmmno.2021.10041062>

- Özdemir Musa Mert. (2020). “*Sürekli Döküm Yöntemi ile Çelik Üretimine Ait Proses Optimizasyonu*” [Yüksek Lisans Tezi]. Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa.
- Patnaik, L., Saravanan, I., & Kumar, S. (2020). “Die casting parameters and simulations for crankcase of automobile using Magmasoft”. *Materials Today: Proceedings*, 22, 563-571. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.08.208>
- Rajkumar, I., & Rajini, N. (2021). “Metal casting modeling software for small scale enterprises to improve efficacy and accuracy”. *Materials Today: Proceedings*, 46, 7866-7870. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.02.542>
- Seo, H. Y., Seo, P. K., & Kang, C. G. (2019). “A study on the S/W application for a riser design process for fabricating axisymmetric large offshore structures by using a sand casting process”. *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, 11(1), 462-473. <https://doi.org/10.1016/j.ijnaoe.2018.08.003>
- Seo, P. K., Kim, H. C., & Kang, C. G. (2007). “Numerical integration design process to development of suspension parts by semi-solid die casting process”. *Journal of Materials Processing Technology*, 183(1), 18-32. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2006.07.041>
- Seo, P. K., Lim, M. D., & Kang, C. G. (2004). “Numerical visualization of viscosity in phase transformation forming process with controlled liquid fraction”. *Journal of Materials Processing Technology*, 153-154(1-3), 450-456. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2004.04.122>
- Sun, J., Le, Q., Fu, L., Bai, J., Tretter, J., Herbold, K., & Huo, H. (2019). “Gas entrainment behavior of aluminum alloy engine crankcases during the low-pressure-die-casting process”. *Journal of Materials Processing Technology*, 266, 274-282. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2018.11.016>
- Sung, S. Y., & Kim, Y. J. (2007). “Modeling of titanium aluminides turbo-charger casting”. *Intermetallics*, 15, 468-474. <https://doi.org/10.1016/j.intermet.2006.07.009>
- Tüdöksan. (2014). “*Döküm Hataları Atlası*”. American Foundry Society .
- Uludağ, A. (2007). “*Basınçlı Döküm Yönteminde Kalıp Sistem Tasarım ve Simülasyon Analizi*” [Yüksek Lisans Tezi]. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Vispute, P., & Chaudhari, D. (2017). “Utilizing Flow Simulation in the Design Phase of a Casting Die to Optimize Design Parameters and Defect Analysis”. *Materials Today: Proceedings*, 4, 9256-9263. www.sciencedirect.comwww.materialstoday.com/proceedings

Wu, M., Tinschert, J., Augthun, M., Wagner, I., Scha Èdlich-Stubenrauch, J., Sahm, P. R., & Spiekermann, H. (2001). “*Application of laser measuring, numerical simulation and rapid prototyping to titanium dental castings*”. 102-108. www.elsevier.com/locate/dental

Yağcı Tuğçe. (2021). “*Alüminyum-Silisyum Alaşımlarının ve Alçak Basıncılı Döküm Prosesinin Simülasyon Destekli Tasarımı*” [Doktora Tezi]. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

Yavuz Hakan. (2019). “*Investigation of the Cooling System Efficiency in Aluminum Low Pressure Die Casting*” [M.Sc. Thesis]. Katip Celebi University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, İzmir.

Zeiss Carl Türkiye. (2024). “*Zeiss Bosello 2D X-ray Tarama Cihazı*”. Erişim: 10.01.2024. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://www.zeiss.com/metrology/products/systems/computed-tomography/bosello.html>