

**YAŞ KUM KALIPLARDA YERÇEKİMİNE TERS YÖNDE DÖKÜM  
İŞLEMLERİNİN UYGULANABİLİRLİĞİ VE YÖNTEMİN YAPI VE  
ÖZELLİKLERE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

**Hasan HASIRCI**

**DOKTORA TEZİ  
METAL EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**NİSAN 2006  
ANKARA**

**YAŞ KUM KALIPLARDA YERÇEKİMİNE TERS YÖNDE DÖKÜM  
İŞLEMLERİNİN UYGULANABİLİRLİĞİ VE YÖNTEMİN YAPI VE  
ÖZELLİKLERE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

**Hasan HASIRCI**

**DOKTORA TEZİ  
METAL EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**NİSAN 2006  
ANKARA**

Hasan HASIRCI tarafından hazırlanan YAŞ KUM KALIPLARDA YERÇEKİMİNE TERS YÖNDE DÖKÜM İŞLEMLERİNİN UYGULANABİLİRLİĞİ VE YÖNTEMİN YAPI VE ÖZELLİKLERE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ adlı bu tezin Doktora tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.



Tez Yöneticisi

Doç. Dr. Ferhat GÜL

Bu çalışma, jürimiz tarafından Metal Eğitimi Anabilim Dalında Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Mehmet TÜRKER



Üye : (Danışman) Doç. Dr. Ferhat GÜL



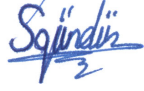
Üye : Prof. Dr. Ercan CANDAN



Üye : Prof. Dr. A. Tamer ÖZDEMİR



Üye : Doç. Dr. Süleyman GÜNDÜZ



Tarih: 27/04/2006

Bu tez, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.



## TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada yararlandığım her türlü kaynağa eksiksiz atıf yaptığımı bildiririm.

Hasan HASIRCI



**YAŞ KUM KALIPLARDA YERÇEKİMİNE TERS YÖNDE DÖKÜM  
İŞLEMLERİNİN UYGULANABİLİRLİĞİ VE YÖNTEMİN YAPI VE  
ÖZELLİKLERE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ  
(Doktora Tezi)**

**Hasan HASIRCI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
Nisan 2006**

**ÖZET**

Bu çalışmada, yaş kum kalıplar kullanılarak geleneksel yerçekimi (gravity casting) ve yerçekimine ters döküm (counter gravity casting) yöntemleri ile üretilen parçaların katılaşma, dökülebilirlik, besleme özellikleri, mikro ve makro yapıları ile mekanik özellikleri üzerinde döküm sıcaklığı ve basıncın etkisi araştırılmıştır. Deneysel çalışmada Al-% 10 Si döküm alaşımı kullanılmıştır. Numuneler 600, 640 ve 690 °C sıcaklıklarda, 100, 200, 250, 300 ve 500 mmHg vakum seviyelerinde dökülmüştür. Sonuçlar, yerçekimine ters döküm yöntemiyle gelişmiş yapısal, mekanik özellikler, dökülebilirlik ve besleme özelliklerinin elde edildiğini göstermiştir.

**Bilim Kodu : 710**

**Anahtar Kelimeler : Yerçekimine ters döküm, yaş kum, mekanik özellikler, dökülebilirlik, besleme**

**Sayfa Adedi : 134**

**Tez Yöneticisi : Doç. Dr. Ferhat GÜL**

**INVESTIGATION OF APPLICABILITY OF COUNTER GRAVITY  
DIRECTION CASTING PROCESSES IN GREEN SAND MOULD AND  
EFFECT OF PROCESS PRODUCTION CASTING PART ON  
STRUCTURES AND PROPERTIES**

**(Ph. D. Thesis)**

**Hasan HASIRCI**

**GAZİ UNIVERSITY  
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

**April 2006**

**ABSTRACT**

In this study, effect of casting temperature and pressure on castability, solidification, feeding properties, micro and macrostructure with mechanical properties of specimens produced by green sand mould traditional gravity casting and counter gravity casting was investigated. In experimental study Al - 10 % Si casting alloys was used. The specimens were poured from the mold-liquid at 600, 640 and 690 °C temperature, under 100, 200, 250, 300 and 500 mmHg vacuum level. The results showed that improved structural, mechanical properties, castability and feeding properties were obtained by Counter Gravity Casting process.

**Science Code : 710**

**Key Words : Counter gravity casting, green sand, mechanical properties, castability, feeding**

**Page Number : 134**

**Adviser : Ass. Prof. Dr. Ferhat GÜL**

## TEŞEKKÜR

Çalıőmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren danışman hocam Doç. Dr. Ferhat GÜL'e, Döküm-Model Anabilim Dalı öğretim elemanları ve personeline, Gazi Üniversitesi Rektörlüğü Araştırma Projelerinin 07/2002-02 nolu araştırma projesi kapsamında desteğine, maddi ve manevi anlamda büyük fedakarlık yaparak beni destekleyen ve tezimin bitmesinde sabır gösteren sevgili eőim ve kızıma teşekkür ederim.

**İÇİNDEKİLER****Sayfa**

ÖZET .....	iv
ABSTRACT .....	v
TEŞEKKÜR .....	vi
İÇİNDEKİLER .....	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ .....	xii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ .....	xiii
RESİMLERİN LİSTESİ .....	xvii
1. GİRİŞ .....	1
2. YERÇEKİMİNE TERS DÖKÜM YÖNTEMİ .....	3
2.1. Yerçekimine Ters Döküm Yönteminin Gelişimi ve Çeşitleri .....	6
2.1.1 CLA yöntemi .....	9
2.1.2. CLV yöntemi .....	10
2.1.3. CV yöntemi .....	11
2.1.4. CLAS yöntemi .....	12
2.1.5. LSVAC yöntemi .....	13
2.1.6. CLI yöntemi .....	14
2.1.7. VAC yöntemi .....	14
2.1.8. SSCLA yöntemi .....	15
2.1.9. SSCV yöntemi .....	15
2.1.10. CLIX yöntemi .....	16
2.2. Döküm İşlemlerinde Yolluk Sisteminin Etkileri .....	17
2.3. Farklı Döküm Yöntemlerinin Çeşitli Açılardan Karşılaştırılması .....	19

	<b>Sayfa</b>
2.3.1. Kalıbın doldurulma şekli açısından karşılaştırma .....	19
2.3.2. Dökülebilirlik açısından karşılaştırma .....	20
2.3.3. Metal temizliği açısından karşılaştırılması .....	22
2.3.4. Dökümlerde oluşabilen gaz problemleri açısından karşılaştırılması .....	23
2.3.5. Kalıp tasarımı ve üretimi açısından karşılaştırılması .....	24
2.3.6. Üretim maliyeti açısından karşılaştırılması .....	25
2.3.7. Elde edilen döküm parça özellikleri açısından karşılaştırılması.....	25
2.4. Yerçekimine ters Döküm Yöntemi Uygulamalarında Etkili Olan Faktörlerin Değerlendirilmesi .....	27
2.4.1. Kalıp malzeme özelliklerinin kontrolü .....	27
2.4.2. Döküm parça katılma şekli ve katılma süresinin kontrolü.....	27
2.4.3. Kalıp boyutları ve fiziki özelliklerinin kontrolü .....	28
2.4.4. Model malzemesi, şekli ve özelliklerinin kontrolü .....	28
2.4.5. Döküm işlemi ve dökülen alaşımın özelliklerinin kontrolü .....	29
2.5. Genel Değerlendirme.....	29
3. YAŞ KUM KALIBA DÖKÜM YÖNTEMİ .....	30
3.1. Kullanılan modeller .....	31
3.2. Kalıplama işlemlerinde kullanılan dereceler .....	31
3.3. Yaş kum kalıpların hazırlanması .....	31
3.4. Ergitme ve döküm işlemleri .....	33
3.5. Dökülen metal ve alaşımlar .....	33
3.6. Yaş kum kalıba döküm yönteminin avantaj ve dezavantajları .....	33

**Sayfa**

4. SAĞLAM DÖKÜM PARÇA ÜRETİMİNDE ETKİLİ OLAN FAKTÖRLERİN DÖKÜM YÖNTEMLERİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ .....	35
4.1. Sıvı Metal Akıcılığı ve Akışı Etkileyen Faktörlerin Değerlendirilmesi.....	35
4.1.1. Kalıp malzemesi ve özellikleri .....	38
4.1.2. Döküm parça şekli ve boyutları .....	40
4.1.3. Sıvı metal bileşimi ve döküm sıcaklığı .....	41
4.1.4. Sıvı metal içerisindeki cüruf ve diğer kirlilikler .....	42
4.1.5. Döküm işlemi ve yolluk dizaynı .....	43
4.1.6. Sıvı metal içerisinde ve döküm sırasında gaz oluşumu .....	45
4.1.7. Kalıbın ön ısıtılması .....	46
4.1.8. Sıvı metalin döküş hızı ve etkileyen faktörler .....	47
4.2. Metal ve Alaşımların Katılma Özellikleri ve Bunların Sağlam Döküm Parça Üretimine Etkileri .....	48
4.2.1. Metal ve alaşımların katılma özellikleri .....	48
4.3. Döküm Parçalarda Besleme İhtiyacı ve Sağlam Döküm Parça Üretimine Etkileri .....	49
4.3.1. Metal ve alaşımların besleme özellikleri .....	51
5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR .....	54
5.1. Döküm İşlemlerinde Kullanılan Kalıp Malzemeleri ve Hazırlanması.....	54
5.1.1. Yaş kum kalıplama malzemesi ve hazırlanması .....	54
5.2. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Dereceler .....	55
5.2.1. Geleneksel döküm yönteminde kullanılan dereceler .....	55
5.2.2. Yerçekimine ters döküm yönteminde kullanılan dereceler .....	56

**Sayfa**

5.3. Yaş Kum Döküm Kalıpların Hazırlanması .....	57
5.3.1. Geleneksel döküm yöntemi için kalıpların hazırlanması .....	57
5.3.2. Yerçekimine ters döküm yöntemi için kalıpların hazırlanması.....	58
5.4. Ergitme İşlemleri ve Döküm Sırasında Kullanılan Araç, Gereç ve Malzemeleri .....	59
5.4.1. Deneysel çalışmalarda kullanılan döküm alaşımı .....	59
5.4.2. Metal ergitme ünitesi .....	59
5.4.3. Kullanılan vakum düzeneği .....	61
5.5. Döküm İşlemleri .....	62
5.5.1. Geleneksel döküm işlemlerinin uygulanması ve üretilen parçaların döküm kalıplarından çıkarılması .....	62
5.5.2. Yerçekimine ters döküm işlemlerinin uygulanması ve üretilen parçaların döküm kalıplarından çıkarılması .....	63
5.6. Üretilen Parçaların Özelliklerinin Tespit Edilmesi .....	64
5.6.1. Mekanik özelliklerin belirlenmesi .....	65
5.6.2. Mikro ve makro yapı incelemeleri .....	66
5.6.3. Dökülebilirlik incelemeleri .....	67
5.6.4. Yoğunluk incelemeleri .....	69
5.6.5. Besleme ihtiyacı incelemeleri .....	71
5.6.6. Katılma karakteristiklerinin incelenmesi .....	73
6. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA .....	75
6.1. Katılma Özellikleri Açısından Geleneksel ve Yerçekimine Ters Döküm Yöntemlerinin Değerlendirilmesi .....	75
6.2. Yapısal Özellikler Açısından Geleneksel ve Yerçekimine Ters Döküm Yöntemlerinin Değerlendirilmesi .....	78

**Sayfa**

6.2.1. Makroyapı özelliklerinin değerlendirilmesi .....	78
6.2.2. Mikroyapı özelliklerinin değerlendirilmesi .....	80
6.3. Elde Edilen Mekanik Özellikler Açısından Geleneksel ve Yerçekimine Ters Döküm Yöntemlerinin Değerlendirilmesi .....	86
6.3.1. Üretilen numunelerin mekanik özelliklerinin değerlendirilmesi.....	86
6.3.2. Üretilen numunelerden elde edilen yoğunluk ve gözenek miktarı özelliklerinin değerlendirilmesi .....	95
6.4. Sağlam Döküm Parça Üretiminde Besleme ve Besleyici İhtiyacı İle İlgili Olarak Geleneksel ve Yerçekimine Ters Döküm Yöntemlerinin Değerlendirilmesi .....	101
6.5. Dökülebilirlik Bakımından Geleneksel ve Yerçekimine Ters Yaş Kum Kalıba Döküm Yöntemlerinin Değerlendirilmesi .....	110
6.6. Çeşitli Kriterler Açısından Geleneksel ve Yerçekimine Ters Döküm Yöntemlerinin Değerlendirilmesi .....	117
6.6.1. Kalıplama işlemleri bakımından karşılaştırma .....	117
6.6.2. Yolluk sistemi ve özellikleri bakımından karşılaştırma .....	118
6.6.3. Uygulanabilirlik bakımından karşılaştırma .....	120
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	121
7.1. Sonuçlar .....	121
7.2. Öneriler .....	125
KAYNAKLAR .....	126
ÖZGEÇMİŞ .....	132

## ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Yerçekimi ve yerçekimine ters döküm yöntemlerinin bazı alaşımlar için karşılaştırılması .....	26
Çizelge 3.1. Yaş kum kalıpların içeriklerinin % ağırlık cinsinden oranları.....	30
Çizelge 4.1. Değişik kalıp tiplerinin ısı iletim özelliklerine bağlı nispi katılma süreleri .....	38
Çizelge 5.1. Yaş kum kalıpların içeriklerinin ağırlıkça % oranları (100 kg için) .....	54
Çizelge 5.2. Döküm işlemlerinde kullanılan ETİAL-171 malzemesi kimyasal bileşimi .....	59
Çizelge 6.1. Döküm sıcaklığı ve basıncına bağlı olarak mekanik özelliklerin değişimi .....	89
Çizelge 6.2. Basıncılı döküm işlemlerinde ilave olarak vakum uygulaması sonucu yoğunluğun artışına bağlı olarak mekanik özelliklerin değişimi .....	93
Çizelge 6.3. Döküm sıcaklığı ve basıncına bağlı olarak sertliğin değişimi.....	94
Çizelge 6.4. Döküm sıcaklığı ve basıncına bağlı olarak yoğunluk ve % gözenek miktarlarının değişimi .....	98
Çizelge 6.5. Özel kalıpla üretilen numunelerden elde edilen yoğunluk ve gözenek ölçüm sonuçları .....	101

## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Basınçlı (gaz) yerçekimine ters döküm yönteminin şematik gösterimi .....	4
Şekil 2.2. Manyetik pompa ile yerçekimine ters dökümün gösterilmesi.....	5
Şekil 2.3. Piston ile sıvı metalin kalıba doldurulduğu yerçekimine ters döküm yöntemi .....	7
Şekil 2.4. CV yönteminin iki farklı uygulama şeklinin aşamaları .....	12
Şekil 2.5. Döküm sıcaklığı ve kaplama durumuna bağlı olarak geleneksel ve yerçekimine ters döküm yöntemlerinde akıcılığın değişimi.....	21
Şekil 2.6. Sıvı metal temizliğinin doldurulma biçimi açısından vakum ile yerçekimine ters dökümde avantajının gösterilmesi .....	22
Şekil 2.7. Kalıp tasarımı bakımından geleneksel ve yerçekimine ters yaş kum kalıpların karşılaştırılması .....	25
Şekil 3.1. Yaş kum kalıp yönteminde işlem aşamaları .....	32
Şekil 4.1. Döküm sırasında meydana gelen ısı transfer profili .....	37
Şekil 4.2. Kalıp yüzeylerinin kaplanmasına ve döküm sıcaklığına bağlı olarak akıcılığın değişimi .....	40
Şekil 4.3. Metal bileşimi ve döküm sıcaklığına bağlı olarak akıcılıktaki değişimin Pb-Sn alaşımı için gösterimi .....	41
Şekil 4.4. Temiz ve içerisinde kirlilik bulunan sıvı metallerin akıcılıklarının değişiminin şematik olarak gösterilmesi .....	43
Şekil 4.5. Yaş kum kalıplara Al ve çelik malzemelerin dökümü sonucu meydana gelen gazların miktarları .....	46
Şekil 4.6. Al-Si alaşımlarının denge diyagramı ve katılaşma özelliklerinin gösterimi .....	48
Şekil 5.1. Yaş kum kalıp kumunun hazırlama aşamaları .....	55

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 5.2. Geleneksel döküm işlemlerinde kullanılan derecenin şematik gösterimi .....	55
Şekil 5.3. Vakum yardımı ile yerçekimine ters döküm işlemlerinde kullanılan derecenin şematik gösterimi .....	56
Şekil 5.4. Mekanik özellikler ve mikro yapı tespitlerinde kullanılmak üzere üretilen döküm çubukların kalıplama işlemlerinde kullanılan modelin şematik gösterimi .....	57
Şekil 5.5. Geleneksel yaş kum kalıba döküm işlemleri için hazırlanan kalıbın şematik gösterimi .....	57
Şekil 5.6. Yerçekimine ters yaş kum kalıba döküm işlemlerinin yapıldığı kalıbın şematik gösterimi .....	58
Şekil 5.7. Metal ergitme işlemlerinde kullanılmak amacıyla hazırlanan direnç ergitme ocağının şematik gösterimi .....	60
Şekil 5.8. Vakum ile sıvı metali kalıba emme yapılabilen düzeneğin şematik olarak gösterimi .....	61
Şekil 5.9. Geleneksel yaş kum kalıba döküm işlemlerinin yapılışının şematik olarak gösterimi .....	63
Şekil 5.10. Vakum ile yerçekimine ters yaş kum kalıba döküm işleminin yapılışı ve bu amaçla hazırlanmış olan döküm düzeneğinin şematik olarak gösterilmesi .....	64
Şekil 5.11. TSE 138 standardına uygun olarak hazırlanmış olan çekme dayanımı, % uzama ve % kesit daralmalarının tespitinde kullanılan çekme testi numunesi .....	66
Şekil 5.12. Dökülebilirlik deneylerinde kullanılan basamaklı modelin şematik gösterimi .....	68
Şekil 5.13. Yerçekimine ters döküm yönteminde dökülebilirlik deneyleri için oluşturulan kalıp tasarımı .....	69
Şekil 5.14. Geleneksel döküm yönteminde dökülebilirlik deneyleri için oluşturulan kalıp tasarımı .....	69
Şekil 5.15. Yoğunluk incelemeleri için numunelerin tartım işlemlerinin gerçekleştirildiği hassas terazi ile suda yapılan tartımın şematik gösterimi .....	70

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 5.16. Besleme ve besleyici ihtiyacının belirlenmesi için kullanılan silindirik parçanın şematik gösterimi .....	71
Şekil 5.17. Geleneksel döküm yönteminde besleme ve besleyici ihtiyacı deneyleri için oluşturulan kalıp tasarımının gösterimi .....	72
Şekil 5.18. Yerçekimine ters döküm yönteminde besleme ve besleyici ihtiyacı deneyleri için oluşturulan kalıp tasarımının gösterimi .....	72
Şekil 5.19. Katılaşma süresi ölçümlerinde kullanılmak üzere hazırlanan yaş kum kalıpların şematik gösterimi .....	73
Şekil 5.20. Katılaşma noktası ölçümlerinde kullanılmak üzere hazırlanan yaş kum kalıpların şematik olarak gösterimi .....	74
Şekil 6.1. Geleneksel ve yerçekimine ters döküm yöntemi ile üretilen parçaların soğuma eğrileri .....	76
Şekil 6.2. İzolasyonlu özel kalıp ile döküm sonunda elde edilen soğuma eğrileri .....	77
Şekil 6.3. Vakum uygulaması ve döküm sıcaklığına bağlı olarak Si fazının görünümdeki meydana gelen değişimin şematik gösterimi .....	85
Şekil 6.4. Al-Si denge diyagramı üzerinde deneylerde kullanılan bileşimin ve döküm sıcaklıklarının gösterimi .....	87
Şekil 6.5. Uygulanan vakum miktarına bağlı olarak her bir döküm sıcaklığındaki çekme dayanımının değişimi .....	90
Şekil 6.6. Uygulanan vakum ve döküm sıcaklığına bağlı olarak % uzamanın değişimi .....	91
Şekil 6.7. Uygulanan vakum ve döküm sıcaklığına bağlı olarak % kesit daralmasının değişimi .....	92
Şekil 6.8. Uygulanan vakum ve döküm sıcaklığına bağlı olarak sertliğin değişimi .....	95
Şekil 6.9. Döküm işlemi sırasında kalıpta oluşan gazların metal içersindeki durumunun şematik olarak gösterilmesi .....	96

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 6.10. Uygulanan vakum miktarı ve döküm sıcaklığına bağlı olarak yoğunluğun değişimi .....	99
Şekil 6.11. Uygulanan vakum miktarı ve döküm sıcaklığına bağlı olarak % gözenek miktarının değişimi .....	99
Şekil 6.12. Döküm kalıplarının hazırlanması açısından iki yöntemin şematik olarak karşılaştırılması .....	118

## RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1. Vakum ile yapılan yerçekimine ters döküm yönteminin işlem aşamaları .....	6
Resim 2.2. CLA yönteminin işlem aşamaları.....	9
Resim 2.3. CLV yönteminin döküm için hazırlanmış haldeki görünümü.....	10
Resim 2.4. CLAS yönteminde kullanılan kalıbın görünümü .....	13
Resim 2.5. LSVAC yönteminin uygulama aşamaları .....	13
Resim 2.6. CLI yönteminin döküm anındaki durumu .....	14
Resim 2.7. VAC yönteminin döküm anındaki şematik gösterimi .....	15
Resim 2.8. SSCV yönteminin işlem aşamaları .....	16
Resim 2.9. Değişik yolluk bağlantı sistemlerine göre sıvının akış şekilleri .....	18
Resim 2.10. Farklı kalıp doldurma metotlarında sıvı akışının karşılaştırılması .....	19
Resim 6.1. Ticari saflıktaki ETİAL-3 Al malzemesinin dökülmesi sonucu üretilen numunelerin makroyapı görüntüleri .....	79
Resim 6.2. 600 °C döküm sıcaklığında üretilen numunelerin mikroyapı fotoğrafları .....	82
Resim 6.3. 640 °C döküm sıcaklığında üretilen numunelerin mikroyapı fotoğrafları .....	83
Resim 6.4. 690 °C döküm sıcaklığında üretilen numunelerin mikroyapı fotoğrafları .....	84
Resim 6.5. Geleneksel yöntemle üretilen besleyici ihtiyacını gösteren numunelerin çekme oluşan bölgelerinin numunenin dışından gösterilmesi.....	104
Resim 6.6. 600 °C döküm sıcaklığında üretilen besleme ihtiyacının belirlenebilmesi için üretilen numunelerin kesilmemiş haldeki görünümleri.....	104

<b>Resim</b>	<b>Sayfa</b>
Resim 6.7. 640 °C döküm sıcaklığında üretilen besleme ihtiyacının belirlenebilmesi için üretilen numunelerin kesilmemiş haldeki görünüşleri.....	105
Resim 6.8. 690 °C döküm sıcaklığında üretilen besleme ihtiyacının belirlenebilmesi için üretilen numunelerin kesilmemiş haldeki görünüşleri.....	105
Resim 6.9. 600 °C döküm sıcaklığında üretilen besleme ihtiyacının belirlenebilmesi için üretilen numunelerin kesilmiş haldeki görünüşleri .....	107
Resim 6.10. 640 °C döküm sıcaklığında üretilen besleme ihtiyacının belirlenebilmesi için üretilen numunelerin kesilmiş haldeki görünüşleri .....	107
Resim 6.11. 690 °C döküm sıcaklığında üretilen besleme ihtiyacının belirlenebilmesi için üretilen numunelerin kesilmiş haldeki görünüşleri .....	108
Resim 6.12. Farklı döküm sıcaklıklarında üretilen numunelerin kesilerek çekme oluşan bölgelerinin gösterimi .....	109
Resim 6.13. 100 mmHg basınç ve farklı döküm sıcaklıklarında üretilen numunelerin kesilerek çekme oluşan bölgelerinin gösterimi .....	109
Resim 6.14. 250 mmHg basınç ve farklı döküm sıcaklıklarında üretilen numunelerin kesilerek çekme oluşan bölgelerinin gösterimi .....	109
Resim 6.15. 500 mmHg basınç ve farklı döküm sıcaklıklarında üretilen numunelerin kesilerek çekme oluşan bölgelerinin gösterimi .....	110
Resim 6.16. Kademeli blok modeli kullanılarak geleneksel yöntemle üretilen dökülebilirlik numunelerinin görüntüleri .....	113
Resim 6.17. Kademeli blok modeli kullanılarak 600 °C döküm sıcaklığında üretilen dökülebilirlik numunelerinin görüntüleri .....	114
Resim 6.18. Kademeli blok modeli kullanılarak 640 °C döküm sıcaklığında üretilen dökülebilirlik numunelerinin görüntüleri .....	114

<b>Resim</b>	<b>Sayfa</b>
Resim 6.19. Kademeli blok modeli kullanılarak 690 °C döküm sıcaklığında üretilen dökülebilirlik numunelerinin görüntüleri .....	115
Resim 6.20. 100 mmHg vakum üretilen dökülebilirlik numunelerinin görüntüleri .....	115
Resim 6.21. 250 mmHg vakum üretilen dökülebilirlik numunelerinin görüntüleri .....	116
Resim 6.22. 500 mmHg vakum üretilen dökülebilirlik numunelerinin görüntüleri .....	116
Resim 2.23. Geleneksel ve yerçekimine ters döküm yöntemlerinde kalıbın doldurulması aşamasındaki sıvı akışının karşılaştırılması .....	120

## 1. GİRİŞ

Hızlı gelişen teknoloji, savaşlar, rekabet şartlarının gelişmesi, kaliteli ürün ihtiyacı gibi nedenlerden dolayı parça üretim yöntemleri hızlı bir şekilde gelişmek durumundadır. Döküm yolu ile üretimde de bu nedenler dolayısıyla araştırma ve geliştirmelerin olması doğal bir sonuç olarak ortaya çıkmaktadır. Bu şartlar altında döküm parça üretiminde kaliteli, sağlam ve daha üstün özelliklere sahip ürünlerin elde edilebilmesi için yapılan çalışmalar neticesinde alçak basınç yardımıyla döküm yöntemlerinden birisi olan Yerçekimine Ters Döküm (Counter Gravity Casting) yöntemi geliştirilmiştir. Yöntem basit bir ifadeyle; sıvı metalin farklı şekillerde (basınç, vakum) yerçekiminin tersi yönünde kalıba doldurulması esasına dayanır.

Sıvı metal, gaz, elektromanyetik pompa ve vakum yardımı ile kalıp içerisine doldurulmaktadır. Yapılan bu çalışmada; hazırlanan kalıplara sıvı metal vakum yardımı ile doldurulmaktadır. Bu yöntemle, üretilen parçalar geleneksel döküm yöntemleri (yerçekimi yardımı ile dökülen) ile üretilen ürünlerden daha üstün özelliklere sahip olmaktadır.

Deneylerde yaş kum malzemesinden üretilen döküm kalıpları kullanılmaktadır. Çalışmada ETİAL-171 alaşımı kullanılmakta ve bu alaşımın mikro ve makroyapı, mekanik özellikler, dökülebilme kabiliyetlerinin değişimi ve kalın kesite sahip parçalarda besleme özelliklerinin geliştirilmesi konularında yerçekimine ters döküm yönteminin etkileri tespit edilerek geleneksel yaş kum kalıba döküm yönteminden farklılıkları belirlenmiştir.

Yerçekimi ve yerçekimine ters yaş kum kalıba döküm yöntemlerinden söz edilirken isimlerin karışmaması amacıyla yerçekimi ile yaş kum kalıba döküm yöntemine buradan itibaren geleneksel ifadesi kullanılması uygun bulunmuştur. Denemeler sonucunda geleneksel döküm yöntemlerine kıyasla; döküm parçaların tane boyutunun küçüldüğü, yapıda oluşan fazların (Si fazı) boyutlarının küçüldüğü, mekanik özelliklerin geliştirilebildiği, çok düşük

döküm sıcaklıklarında (600, 640 ve 690°C) dahi sağlam parça üretiminin gerçekleştirilebildiği, kesit kalınlığına bağlı olarak besleme özelliklerinin kötü olduğu bilinen bu alaşımlarda besleme ihtiyacının azaldığı ve hatta ince kesitlerde yok edilebildiği tespit edilmiştir.

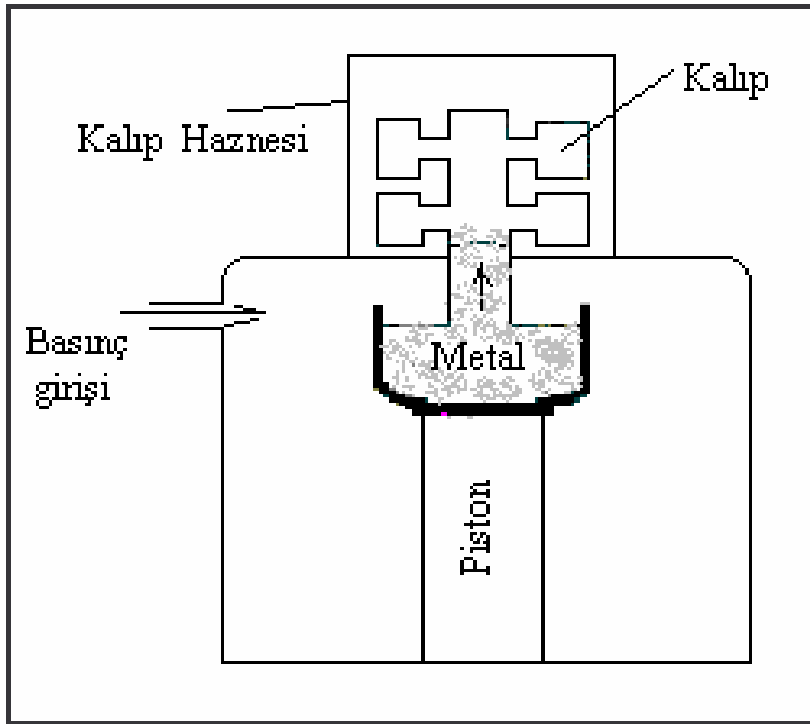
## 2. YERÇEKİMİNE TERS DÖKÜM YÖNTEMİ

Yerçekimine ters döküm yöntemi; ileri yada özel döküm yöntemleri sınıfında,basınç veya vakumla sıvı metalin hazırlanmış olan kalıba doldurulduğu bir döküm yöntemidir. Dökümü özel ve kontrollü yapılması gereken ve özellikle çok ince kesitli parçaların üretiminde başarılı bir şekilde kullanılmaktadır. Bu yöntemin yapılışı, işlemin yapıldığı düzeneğe, kalıp malzemelerinin (kabuk kalıp, seramik kalıp, yaş kum kalıp gibi) değişik uygulamaları daha önceki çalışmalarda çok sınırlı olarak değerlendirilmiştir [1-8].

Ancak kalıp malzemesi çeşidi, metalin doldurulma şekli, geleneksel yer çekimi döküm ile alaşımların mikro ve makroyapıları ile kazandırılan özellikler açısından birçok detaylar henüz büyük oranda araştırılmamıştır. Bu yöntemde, sıvı metal kalıbın içerisine üç farklı sistemle gönderilmektedir. Bunlar; sıvı metalin kalıba basınç, manyetik pompa ve vakum yardımıyla gönderilmesi şeklindedir.

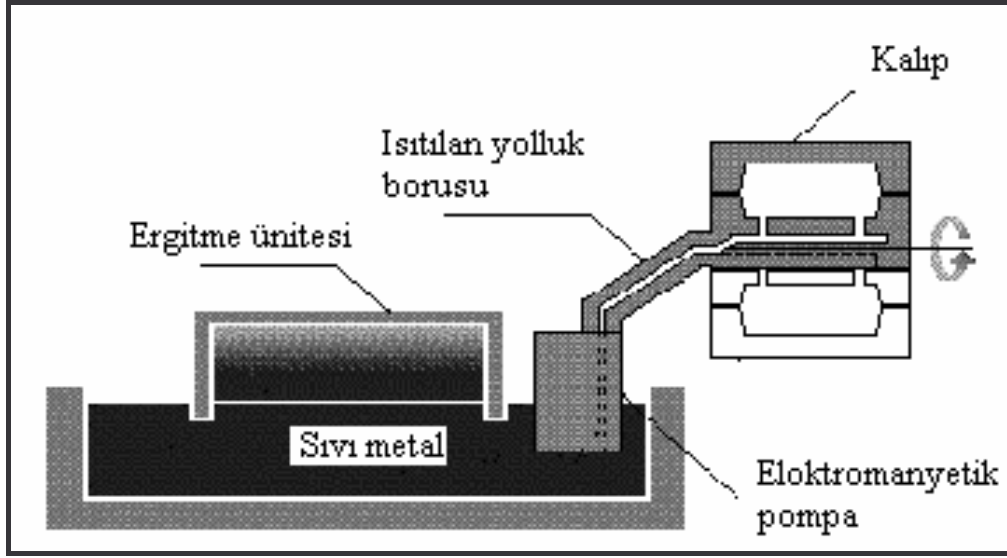
Daha önceleri dökümcüler tarafından ergitilen metal bir piston vasıtasıyla sabit haldeki döküm kalıbına gönderilmek suretiyle döküm işlemi gerçekleştirilmiş [3,4] ve daha sonra bu sistem değişik düşük basınç (gaz basıncı) uygulamalarına dönüştürülmüştür [1,5-8]. Basınçla sıvı metalin kalıba gönderildiği sistemde kalıp, içerisinde sıvı metalin de bulunduğu yalıtılmış bir düzeneğe içerisine yerleştirilmiştir (Şekil 2.1). Kalıbın alt kısmında ergimiş metalin doldurulmasına yarayan bir boru (gidici) bulunmaktadır. Döküm işlemi sıvı metal yüzeyine basınç uygulanması ve bu şekilde kalıbın doldurulması esasına dayanmaktadır. Gidicideki metal aynı zamanda besleyici görevi de görmektedir. Bu durum alçak basınçlı bu döküm yöntemi ile üretilen parçalara çok üstün özelliklerin kazandırılmasına yardımcı olur. İşlemlerin otomasyona uygunluğu, düşük kalıp ve metal sıcaklığı ile işlemlerin uygulanma kolaylığı gibi açılardan geleneksel döküm yöntemlerine oranla bu yöntemi avantajlı hale getirmektedir.

Alçak basınç ile katılaşma hızındaki artış ilişkisi nedeniyle dökümlerde küçük tane boyutu, daha az dentrit kol aralığı ve yüksek mekanik özellikler elde edilebilmektedir [2,9,10]. Ancak; basıncın sıvı metalin doldurulması sırasında bazı olumsuzluklara sebep olması, beraberinde bazı döküm hatalarını da getirmektedir (Bölüm 2.2). İşte bu nedenle geleneksel yerçekimi ile döküm yöntemlerine oranla bir çok avantajları bulunmasına karşın, vakumlu sisteme kıyasla dezavantajları da bulunmaktadır [1,9].



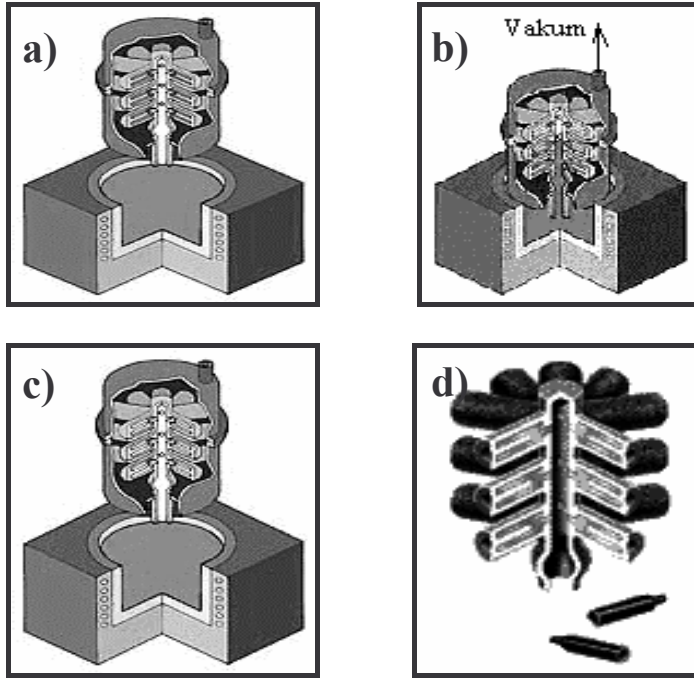
Şekil 2.1. Basıncılı (gaz) yerçekimine ters döküm yönteminin şematik gösterimi [5]

Manyetik pompa ile yerçekimine ters döküm yönteminde; sıvı metal kalıp içerisine ergitme ocağından yada döküm haznesinden yukarıya doğru manyetik alan oluşturan pompa düzeneği yardımıyla gidiciden kalıp içerisine doldurulmaktadır (Şekil 2.2). Bu yöntem; bir açıdan gaz basıncı yardımıyla kalıbın doldurulduğu sisteme benzer özelliklere sahip olmaktadır. Sistemdeki manyetik alan oluşturma düzeneği de bu yöntemin olumsuz yada kısıtlayıcı yönünü oluşturmaktadır [11]. Şekil 2.2'de bu yöntemin uygulanışı şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 2.2. Manyetik pompa ile yerçekimine ters dökümün gösterilmesi [11]

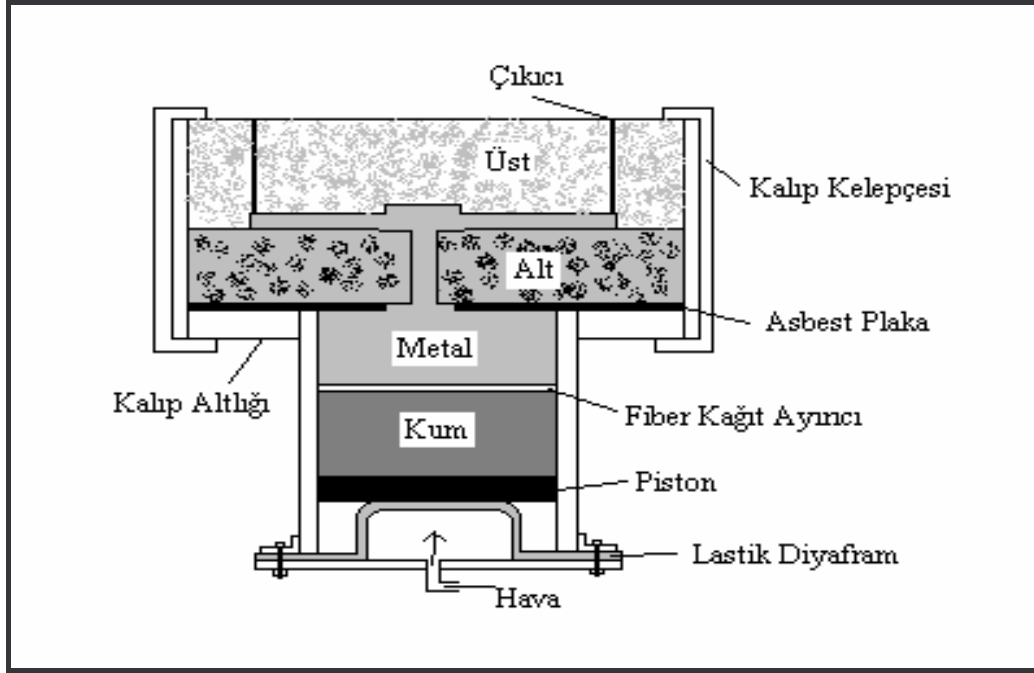
Vakum kullanımı ile kalıbın doldurulduğu sistemde ise; kalıp boşluğuna sıvı metalin itilmek suretiyle değil de çekilerek (emilerek) doldurulması dışında alçak basınçlı yerçekimine ters döküm yöntemi ile aralarında işlemin yapılışı açısından pek fark bulunmamaktadır (Şekil 2.2). Vakum ile yerçekimine ters dökümde kalıbın ısıtılmasına ihtiyaç olmamasından dolayı yüksek mekanik özellikler ve yüksek üretim hızı sağlanabilmektedir. Alçak basınçlı yerçekimine ters dökümde olduğu gibi sıvı metalin kalıba doldurulması kalıbın alt kısmındaki genellikle gidici ve besleyici vazifesi yapan boru ile yapılmakta ve mükemmel metal akışı sağlanmaktadır. Yöntem otomasyona uygun ve yüksek kalitelerde üretim yapmak mümkündür [1,2,5,9,10,12-16]. İşlemin şematik gösterimi Resim 2.1’de gösterilmiştir.



Resim 2.1. Vakum ile yapılan yerçekimine ters döküm yönteminin işlem aşamaları [2], a) Hazırlanan kalıp vakum haznesine yerleştirilir, b) Kalıbın yolluğu ertitme ocağına daldırılıp sıvı metal vakum ile kalıba doldurulur, c) Döküm parça katılaştıktan sonra ise vakumun kesilmesi ile yolluktaki sıvı metal ocağa geri boşaltılarak döküm işlemi tamamlanır, d) Dökülen parçalar kalıptan çıkarılır.

## 2.1. Yerçekimine Ters Döküm Yönteminin Gelişimi ve Çeşitleri

İlk önceleri dökümcüler döküm parça üretimi sırasında bir piston (Şekil 2.3) yardımıyla sıvı metalin kalıbın altından yerçekiminin tersi yönünde yukarı doğru göndermeye çalışmışlardır [3,4]. Daha sonraları ise kalıplar vakum kutusuna benzer şekilde bir yere yerleştirilerek döküm yapılmıştır. Doldurma borusu (yolluk, gidici) kalıbın dışına çıkarılmış şekilde tasarım yapılmıştır. Doldurma borusu sıvı metalin içerisine daldırılmış ve kalıbın dışından basınç (Şekil 2.1 ve Şekil 2.2) veya vakum (Resim 2.1) uygulanarak kalıbın içerisine doğru sıvı metalin dolması sağlanmıştır [9,17]. Ayrıca bir çok patent çalışması yapılarak [18-25] bu yöntem ile ilgili olarak kalıp ve kullanılan düzenekler belirlenmiştir.



Şekil 2.3. Piston ile sıvı metalin kalıba doldurulduğu yerçekimine ters döküm yöntemi [4]

Genellikle metal kalıplar kullanılarak II. Dünya Savaşına kadar bu şekilde Al alaşımı dökümleri başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Metal kalıplarda, kalıba açılan vakum kanalları yardımıyla sıvı metal kalıba doldurulmaktadır. 1970'lerde metalik olmayan geçirgen hassas (seramik) döküm kalıplar ve daha sonra ise düşük sıcaklıkta bağlanan kum kalıplar kullanılmaya başlanmıştır [2,9,10,16].

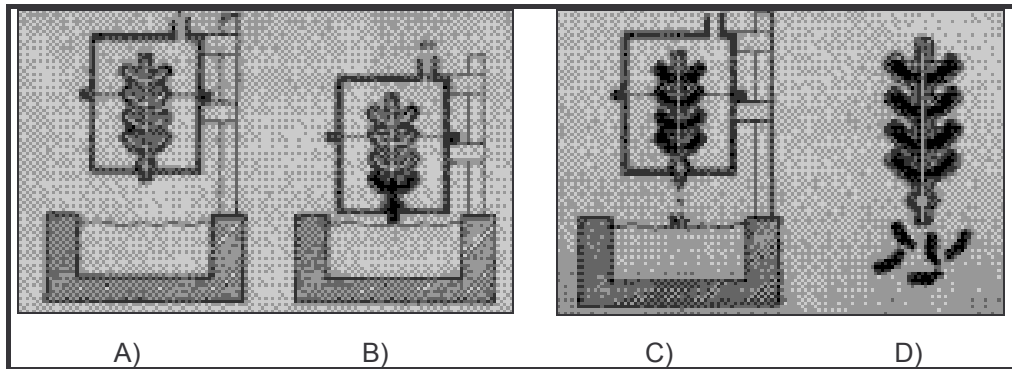
Vakum uygulanarak gerçekleştirilen alçak basınçlı yerçekimine ters döküm yöntemleri genel olarak isminin baş harfleri ile anılmaktadır. [1,2]. Bu yöntemler;

- 1) CLA Yöntemi (Havada ergitilmiş alaşımların yerçekimine ters seramik kalıba alçak basınçlı döküm yöntemi)
- 2) CLV Yöntemi (Vakum altında ergitilmiş alaşımların yerçekimine ters seramik kalıba alçak basınçlı döküm yöntemi)

- 3) CV Yöntemi (Kontrollü valf ile yerçekimine ters alçak basınçlı döküm yöntemi-Kontrollü Vana)
- 4) CLAS Yöntemi (Havada ergitilmiş kuma dökülmüş alaşımların yerçekimine ters alçak basınçlı döküm yöntemi -Kum kalıba döküm)
- 5) LSVAC Yöntemi (Maliyeti azaltmak için havada ergitilmiş alaşımların bağlayıcısız kum kalıplara yerçekimine ters alçak basınçlı döküm yöntemi)
- 6) CLI Yöntemi (Reaktif alaşımların inert atmosferde ergitilerek yerçekimine ters alçak basınçlı döküm yöntemi–İnert atmosfer ortamında ergitilen alaşımlar)
- 7) VAC Yöntemi (Havada ergitilmiş alaşımların sentetik bağlayıcılı kumlara vakum ile yerçekimine ters alçak basınçlı döküm yöntemi)
- 8) SSCLA Yöntemi (Havada ergitilen alaşımların seramik kalınlığı azaltılmış kum takviyeli kalıplarda yerçekimine ters alçak basınçlı döküm yöntemi)
- 9) SSCV Yöntemi (Havada ergitilen alaşımlardan büyük ve geniş parçaların seramik kalınlığı azaltılmış kum takviyeli kalıplarda vakum ile yerçekimine ters alçak basınçlı döküm yöntemi)
- 10) CLIX Yöntemi (Reaktif alaşımların hassas döküm kalıplarında inert gaz atmosferde ergitilerek yapılan vakum ile yerçekimine ters alçak basınçlı döküm yöntemi)

### 2.1.1. CLA yöntemi

Bu yöntemde hassas dökümde kullanılan seramik kabuk kalıplar kullanılmaktadır. CLA yöntemi normal olarak havada ergitilen alaşımların dökümünde kullanılır. Yerçekimine ters yapılan döküm yöntemlerinin ilki olma özelliğine sahiptir [9]. Yöntemin maliyeti; kalıptaki parça sayısı, yolluktaki metalin sıvı kalarak ocağa geri boşaltılabilmesi ve özellikle sıvı metal içerisindeki kirliliklerin gidicinin sıvı metalin temiz kısmına kadar daldırılmış olması nedeniyle döküm hatasının en aza indirilebilmesi gibi faktörlerden etkilenir. İnce kesitli parçalar (0.75 mm'den daha az yada 0.03 inch kalınlıkta) yüksek miktarda ve düşük maliyette üretilebilir [1,2,5,9,10,26]. Resim 2.2'de CLA yönteminin işlem aşamaları görülmektedir.



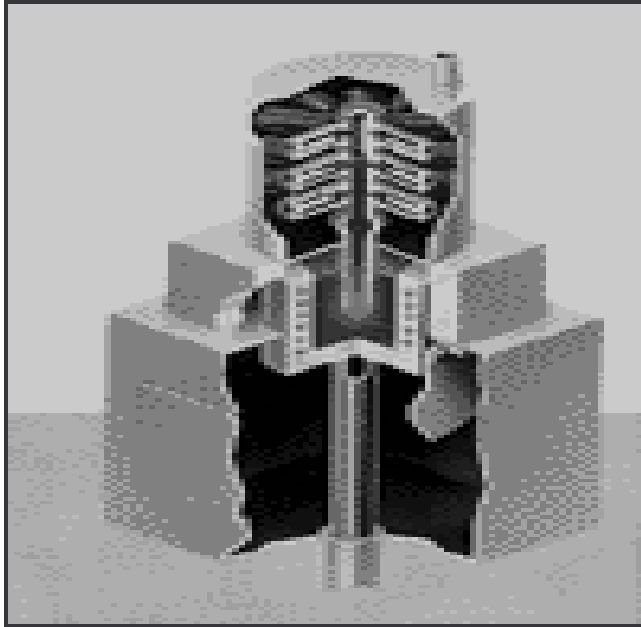
Resim 2.2. CLA yönteminin işlem aşamaları [9], A) Kalıbın ergitme ocağına yerleştirilmesi, B) Sıvı metalin kalıba vakum yardımıyla doldurulması, C) Kalıptaki parçaların katılaşmasının beklenmesi ve vakum uygulamasının kesilmesi, ile yolluktaki sıvı metalin ocağa tekrar boşaltılması, D) Kalıbın bozulması

*Uygulama alanları:* CLA metodu her türlü sektör için ve her çeşit parça üretiminde kullanılabilir. Otomotiv endüstrisi için direksiyon sistemi parçaları, transmisyon parçaları ve yine roket başlıkları gibi üretimler yapılabilir. Hava taşıtları ve uzay endüstrisi için üretilen parçaların arasında ısı ölçüm gereci, yakıt pompası parçaları, fren parçaları, pompa yuvası ve yapısal elemanlar sayılabilir. Golf sopası başlıkları, sayısız makine parçaları,

ağaç makine parçaları, kilit parçaları, silah parçaları ve vanalar diğer uygulamaları arasında yer almaktadır [2,26].

### 2.1.2. CLV yöntemi

Süper alaşımların üretimi için geliştirilen bu yöntem hassas döküm kalıplarında vakum altında ergitme ve döküm yapılan bir döküm yöntemidir [9]. CLV metodu Al, Zr, Ti ve Hf gibi atmosfer ortamından etkilenen alaşımların üretiminde (özellikle süper alaşımlar) kullanılmaktadır.



Resim 2.3. CLV yönteminin döküm için hazırlanmış haldeki görünümü [9]

Resim 2.3'de CLV yöntemi görülmektedir. CLA metodunun CLV metoduna göre işletim kolaylığı açısından avantajlı olduğu görülmektedir. Bu metodun diğer bir avantajı da çok ince kesitlerin doldurulabilmesi ve yer çekimi ile levha dökümlerine kıyasla küçük oksitlerden oluşabilecek döküm hatalarının önlenilmesidir. Bu metod ile kesit kalınlığı 1 mm'ye kadar olan geniş yüzeyli parçaların dökümü mümkündür ve oksit gibi artıkların bulunmadığı parçalar üretilebilmektedir [2,9,26].

*Uygulama alanları:* Gaz türbini motor parçaları Hf ve Cr kirlilikleri oluşmadan üretilebilir. Bir döküm parça için kalite ve fiyat gelişimi sağlanabilir [26]. Süper alaşım dökümlerinin vakum ortamında başarılı bir şekilde üretimi mümkündür [2].

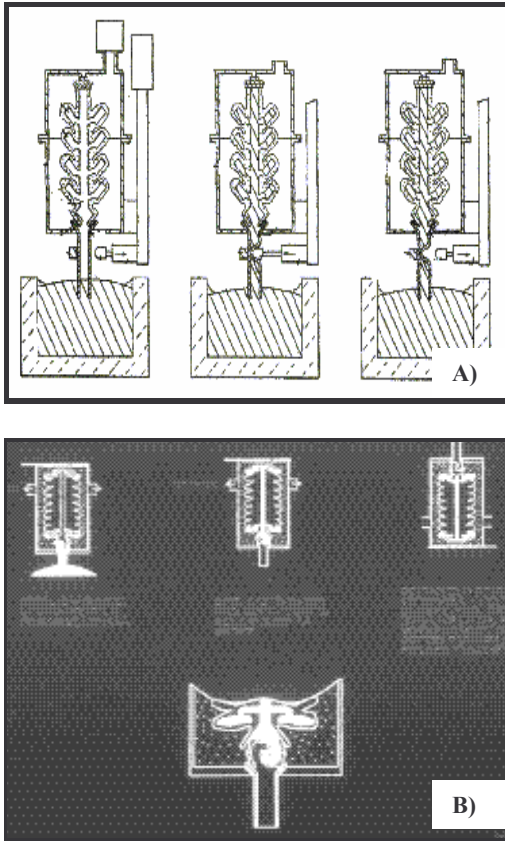
### **2.1.3. CV yöntemi**

CV metodu; CLA yada CLV metotları gibi çok ince kesitli parçaların dökümünde kullanılabilir. Kalıp doldurulduğunda üzerinde kontrol vanası (kontrol valfi) görevi yapan, kıvrılarak kapatılabilen esnek bir doldurma borusu (gidici) bulunan bir döküm yöntemidir.

Ayrıca bu yöntemde gidici içerisine yerleştirilen ek bir sistem ile kalıbın dolmasının ardından bu ek sistemin katılması ile kalıp içerisindeki gidici kısmındaki metalin geriye boşalmasının engellendiği farklı bir uygulama da bulunmaktadır.

CV yöntemi, metal temizliğinin artırılmasını ve bütün kalıp üretim yöntemlerine uygulanabilmesini ve ince parçaların iyi bir şekilde dökülebilmesini sağlar [2,9,26,27]. Şekil 2.4'de CV yönteminin uygulanmasının aşamaları görülmektedir.

*Uygulama alanları:* Bu yöntem, füze (roket) kanatları, vana gövdeleri, diğer değişik kesit kalınlıklarına ve geniş yüzeye sahip parçaların üretimini mümkün kılmaktadır [9,26,27].

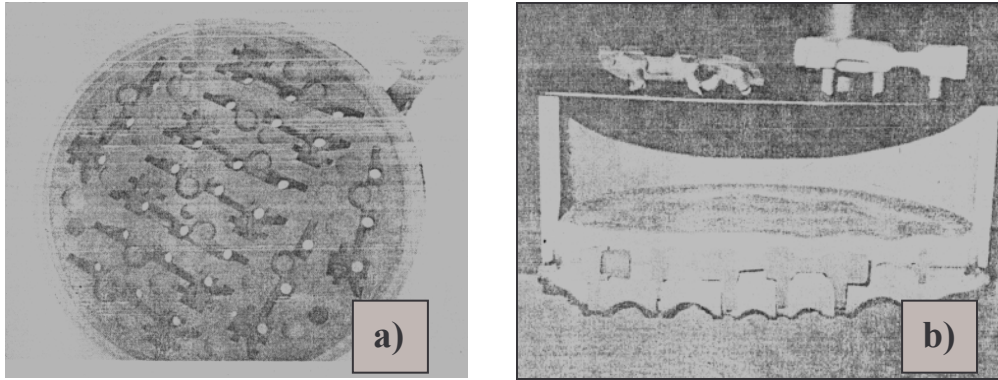


Şekil 2.4. CV yönteminin iki farklı uygulama şeklinin aşamaları [28]

#### 2.1.4. CLAS yöntemi

Büyük ve geniş parçaların kum kalıplara döküldüğü bir yöntemdir. Uygulanması kolay ve üretim hızı diğerlerine oranla daha yüksektir [9,26,28]. CLAS metodu; kum dökümler için kullanılır ve diğer metotlardan (CLA, CLV, CV) oldukça farklıdır. Alçak vakum değerleri ile yapılabilen tek yöntemdir. Düşük sıcaklığa sahip sıvı metal ile döküm işlemi yapılabilir. Sıvı içerisinde bulunan kirliliklerden kaynaklanan hatalar geleneksel döküm yöntemlerine oranla çok daha azdır [1,2,9,16,26]. Resim 2.4'de CLAS yöntemi görülmektedir.

*Uygulama alanları:* Kalınlığı 1.5 mm'ye kadar olan çelik döküm otomobil parçaları ve krank milleri üretilebilir. İnce kesite sahip paslanmaz çelik ve Al araç tekerlek parçaları bu yöntemle başarılı bir şekilde üretilmektedir [26].

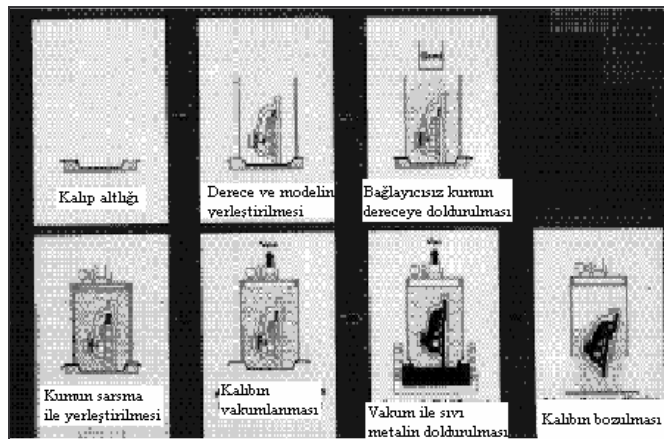


Resim 2.4. CLAS yönteminde kullanılan kalıbın görünümü [1,26], a) kalıp yarımının görünümü b) dökülmüş kalıbın kesilmiş haldeki görünümü

### 2.1.5. LSVAC yöntemi

CLAS yönteminin geliştirilmesi ile oluşturulan bir döküm yöntemidir. CLAS yöntemine göre daha büyük ve çok sayıda parça üretimi mümkündür. Bağlayıcısız kum kalıpların kullanılması yöntemin en önemli farklılığını oluşturmaktadır [9,12,14,15]. Resim 2.5'de LSVAC yönteminin uygulanması gösterilmiştir.

*Uygulama alanları:* Havada ergitilebilen karmaşık ve büyük boyutlu parçaların dökümü yapılır. Örnek olarak; demir ve çelik manifoldların üretilmesi verilebilir [2,9].

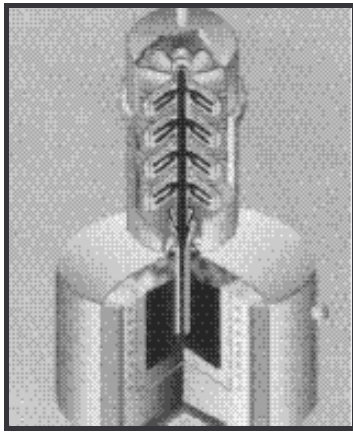


Resim 2.5. LSVAC yönteminin uygulama aşamaları [2]

### 2.1.6. CLI yöntemi

Hassas döküm kalıplarında inert atmosferde ergitilen ve vakum ile döküm işleminin yapıldığı bir yöntemdir. CLA yöntemine benzer bir şekilde yapılmaktadır. CLV yöntemine oranla daha büyük parçaların üretimi mümkündür ve daha ucuz bir üretim yöntemidir [2,9,16]. Resim 2.6'da CLI yönteminin şematik görünümü verilmektedir.

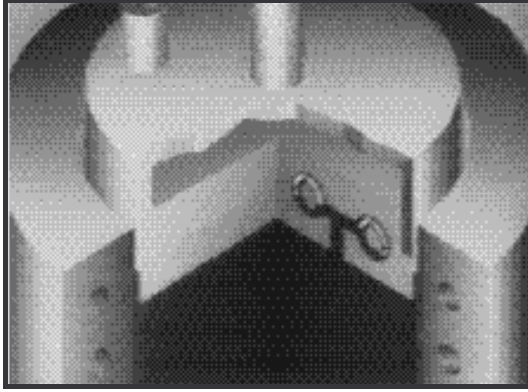
*Uygulama alanları:* Bir çok jet motoru parçaları ve reaktif alaşımların üretiminde kullanılır [9].



Resim 2.6. CLI yönteminin döküm anındaki durumu [9]

### 2.1.7. VAC yöntemi

Güçlü plastik bağlayıcılı kum kalıpların kullanıldığı bir yöntemdir. Kalıbın alt kısmı döküm sırasında ocak içerisindeki sıvı metale daldırılarak vakum yardımıyla döküm işlemi yapılır. Özellikle kalın kesitli döküm parçaların üretilmesinde çok yaygın olarak kullanılır [2,9]. Resim 2.7'de VAC yönteminin döküm anındaki şematik gösterimi verilmiştir.



Resim 2.7. VAC yönteminin döküm anındaki şematik gösterimi [9]

### 2.1.8. SSCLA yöntemi

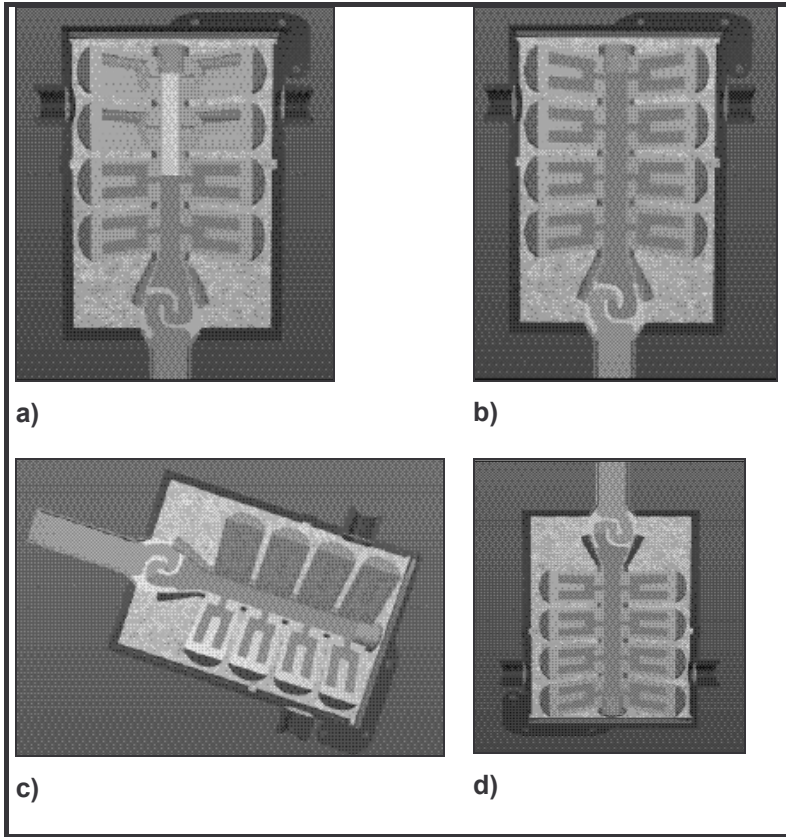
CLA yöntemine benzerlik göstermektedir. Ancak SSCLA yönteminde seramik kalıp kalınlığı azaltılıp ve kalıbı takviye etmek için kum malzeme kullanılmaktadır. Bu şekilde seramik için harcanan masraf azaltılarak daha ekonomik bir yöntem geliştirilmiştir [2].

*Uygulama alanları:* Demir alaşımları ve bunlardan otomotiv motor başlıkları başlıca üretilen parçalar arasında gelmektedir [2].

### 2.1.9. SSCV yöntemi

SSCLA yöntemine benzer bir döküm yöntemidir. Ancak SSCLA yöntemindeki gidici içerisine CV ve VAC yöntemlerindeki sisteme benzer şekilde bir valf (vana) sistemi oluşturularak döküm işleminden sonra sıvı metalin ergitme ocağına geri boşalması engellenmektedir. Buradaki amaç; büyük ve geniş parçaların üretilmesi sebebiyle soğumanın daha yavaş olması sonucunda metalin geri boşalmasının engellenmesidir [2]. Yöntemin işlem aşamaları Resim 2.8'de gösterilmektedir.

*Uygulama alanları:* Büyük (45lb'nin üzeri ağırlıkta) ve kalın kesitli uzay sanayiine yönelik parçaların üretiminde kullanılmaktadır [26].



Resim 2.8. SSCV yönteminin işlem aşamaları [2]

### 2.1.10. CLIX yöntemi

Reaktif alaşımların koruyucu atmosfer ortamında ergitilip hassas döküm kalıplarına vakum yardımı ile döküldüğü yerçekimine ters döküm yöntemidir. Uygulanması CLI veya diğer yerçekimine ters döküm yöntemlerine benzer özellikler taşımaktadır. Ancak bu yöntem ile koruyucu atmosfer ortamında üretilebilen alaşımların ergitilerek dökülebilmesi CLI yöntemi ile en önemli farkını oluşturmaktadır [2].

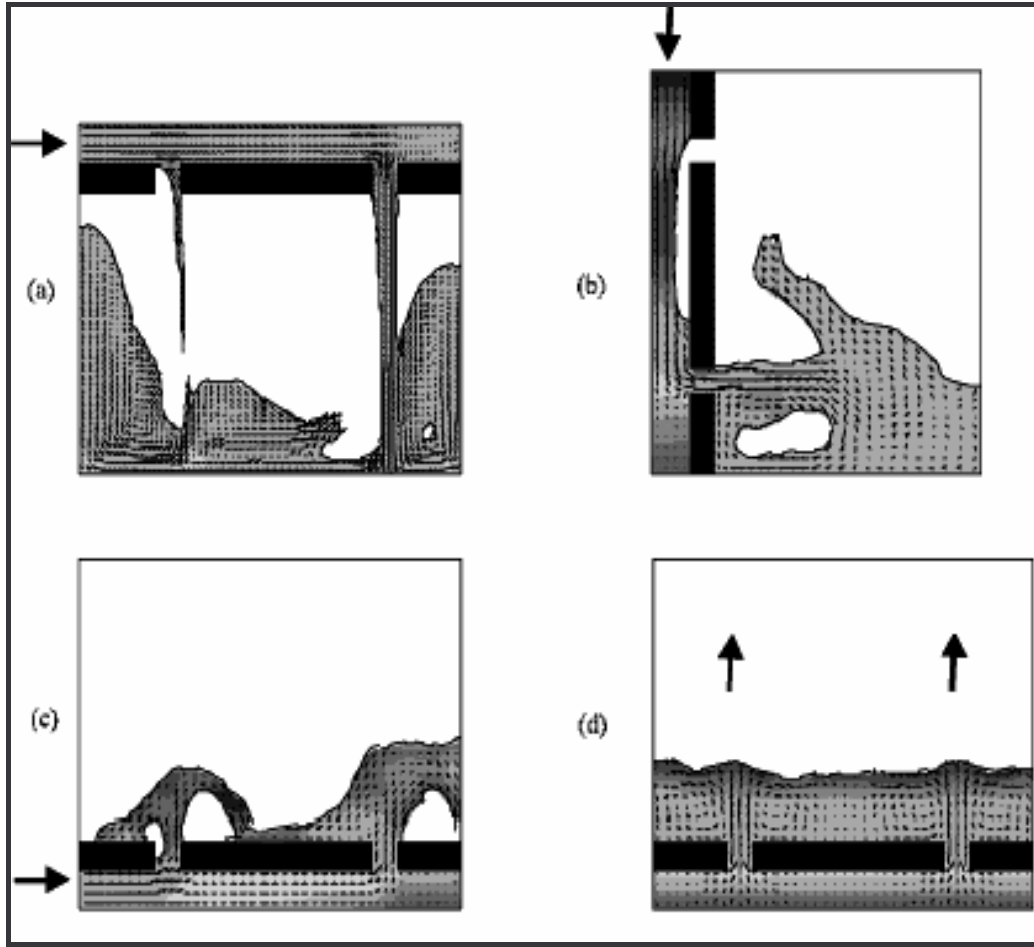
*Uygulama alanları:* Titanyum ve titanyum aluminat gibi reaktif malzemelerin dökümünde başarılı bir şekilde kullanılmaktadır. Bu malzemeler ile golf sopası başlıkları ve valf (vana) gibi parçaların üretimleri gerçekleştirilmektedir [2].

## 2.2. Döküm İşlemlerinde Yolluk Sisteminin Etkileri

Burada sıvı metalin kalıp içerisine doldurulması amacıyla kalıp içerisinde yapılan kanalların yada yolluk sistemi olarak ifade edilen kanalların; döküm işlemlerine ve döküm parçanın özelliklerine etkileri ifade edilmeye çalışılacaktır. Sıvı metalin kalıp boşluğu veya yolluk içerisindeki akışı, diğer sıvıların akışlarına benzer özellikler taşımaktadır. Bu nedenle sıvı metalin akışının bu açıdan değerlendirilmesi uygun olacaktır.

Döküm işlemlerinde meme dökülecek parçanın yolluğa bağlandığı kısmı oluşturmaktadır. Memeler genellikle parçalara yandan, üstten ve alttan bağlanır (Resim 2.9). Yapılan çalışmalar da en uygun sıvı akışının alttan bağlantı yapılması ile elde edildiği tespit edilmiştir [1,9,29,30]. Alttan yolluk bağlantısı yapılması ile sıvı metalin akışı sırasında türbülans oluşumu diğer bağlantılara oranla daha az olmaktadır. Bunun yanında sıvı metal alttan doldurulurken atmosfer ile teması en az düzeyde olmaktadır. Ancak sıvı metalin yukarıdan dökülmesi sırasında belli oranda basınç oluşmaktadır. Bunun sonucunda ise çeşitli döküm problemleri oluşabilmektedir [31,32].

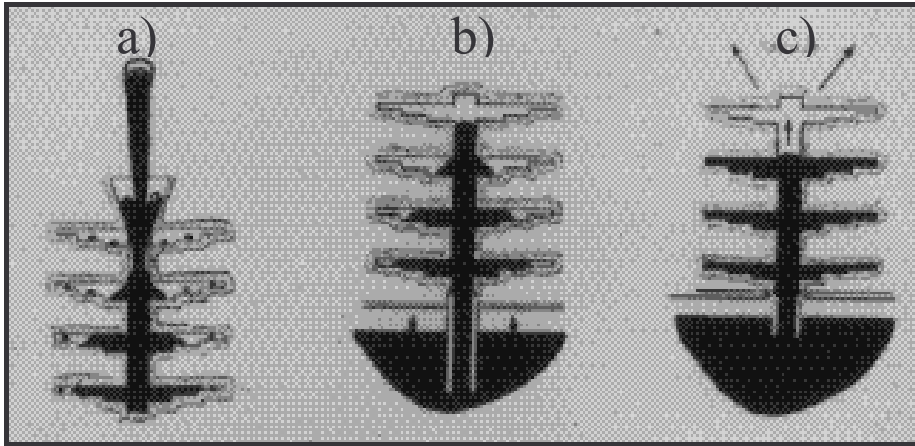
Yerçekimine ters döküm yönteminde ise durum daha farklı olmaktadır. Metal kalıba alttan doldurulmaktadır. Ancak burada yöntemde kullanılan sıvı metalin doldurma biçimi önem taşımaktadır. Yerçekimine ters döküm yönteminde sıvı metal basınç veya vakum yardımı ile kalıba doldurulmaktadır.



Resim 2.9. Değişik yolluk bağlantı sistemlerine göre sıvının akış şekilleri  
 a) üstten, b) yandan, c) alttan basınçlı ve d) alttan vakum uygulamasında sıvının akış durumu [29]

Resim 2.10'da sıvı metalin farklı şekillerde kalıba doldurulması gösterilmektedir. Şekil incelendiğinde geleneksel yerçekimi ile döküm (a) ve basınçla yapılan yerçekimine ters döküm (b) uygulamalarında metalin kalıba dolduruş karakteristiklerinin benzer olduğu görülecektir. Bu iki yöntemde döküm sırasında sıvı metal gidici içerisinde ulaşabileceği en uç noktaya ulaştığı halde metalin dolmaya başladığı kısma en yakın olan kalıp boşluklarının dolmadığı görülmektedir. Ancak vakum ile yapılan yerçekimine ters döküm yönteminde (c) kalıptaki parçaların sıra ile ve sakın bir şekilde dolduğu görülecektir. Bunun nedeni vakum ile yapılan döküm sırasında sıvı metalin yavaş ve sakın bir şekilde kalıba adım adım doldurmasının sonucudur. Yine burada etkili olan faktörlerden bir diğeri de döküm işlemi

sırasında kalıp içerisinde meydana gelen kalıp iç basıncından dolayı diğer yöntemlerde (a ve b) kalıbın dolması düzensiz olmaktadır. Ancak vakum ile yapılan yerçekimine ters döküm yönteminde bu iç basınç vakum yardımı ile giderilerek rahat ve düzgün bir doldurma sağlanabilmektedir [9].



Resim 2.10. Farklı kalıp doldurma metodlarında sıvı akışının karşılaştırılması [2,9], a) yerçekimi, b) gaz basıncı ve c) vakum ile döküm işlemlerinde sıvı akışının

## 2.3. Farklı Döküm Yöntemlerinin Çeşitli Açılardan Karşılaştırılması

### 2.3.1. Kalıbın doldurulma şekli açısından karşılaştırma

Yerçekimine ters döküm yöntemi; geleneksel döküm yöntemlerinin aksine sıvı metali kalıba yukarıya doğru (yer çekimine ters yönde) doldurma esasına dayanmaktadır. Bu amaçla alçak basınç (piston ve gaz vasıtasıyla) ve vakum yardımı ile sıvı metalin kalıba doldurulması şeklinde yerçekimine ters döküm uygulamaları yapılmaktadır [10,16]. Ancak; basınçla sıvı metalin kalıba doldurulduğu yöntemlerde [30,33-38], özellikle iyileşmeler sağlanmasına rağmen basınç uygulamasına bağlı olarak bir çok döküm hatası meydana gelmektedir. Ayrıca bu tür yöntemlerde kullanılabilen kalıp malzemeleri de sınırlıdır (metal veya dayanımı yüksek olan malzemelerden yapılan kalıplar). Yine bu yöntem ve geleneksel yer çekimi döküm yöntemlerinde sıvı metalin

akıcılığının artırılması amacıyla döküm sıcaklığının yüksek tutulması sonucu bir çok döküm hatası meydana gelmektedir [6,16,39].

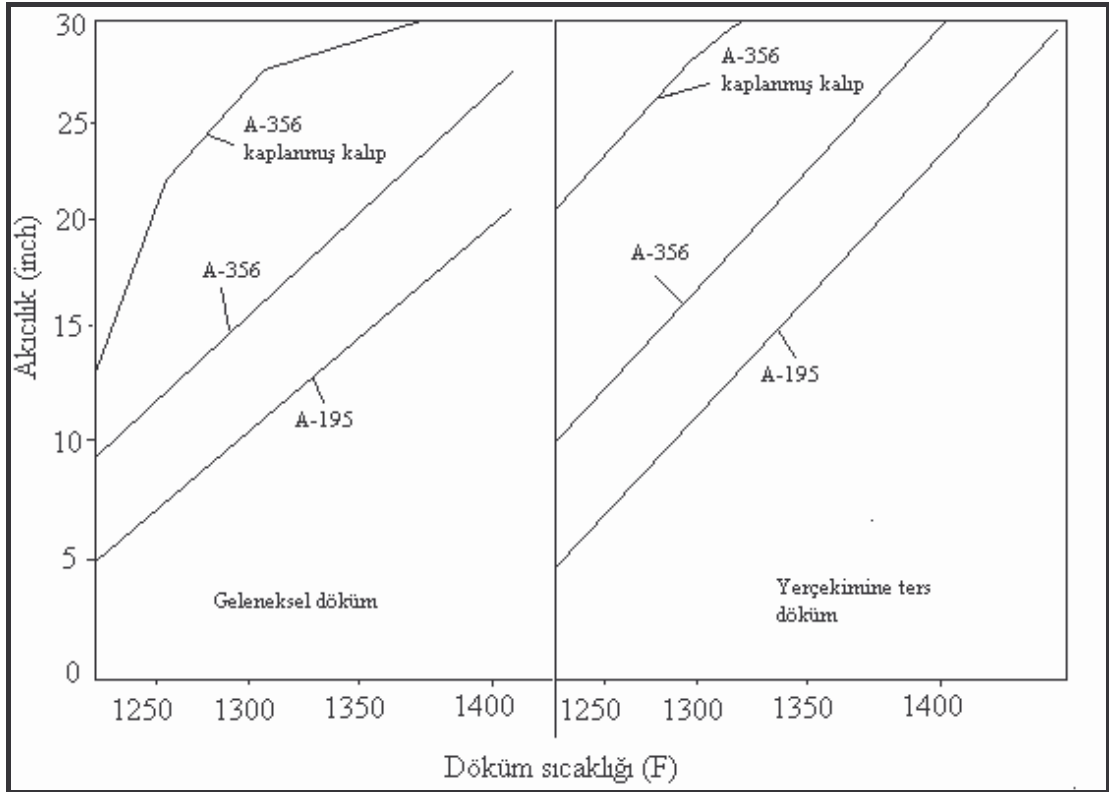
Sıvı metal çeşitli biçimlerde kalıp içerisine doluşu bir çok çalışmaya [30-32,35-41] konu olmuştur. Bu çalışmaların bir kısmı yerçekimi ile döküm [30,35-38,41], diğer kısmı ise sıvı metalin basınç yardımıyla döküldüğü çalışmalardan [33,34,40,42] oluşmaktadır. Çalışmaların genel ortak sonucu olarak, kalıp içerisine sıvı metalin sakın ve çalkantı oluşturmadan doldurulmasının üretilen parçaların özelliklerinin geliştirilmesinde büyük önem taşıdığı vurgulanmaktadır. Sakın bir sıvı metal akışının, yolluk sistemi özellikleri, sistemin bileşen sayısı ve özellikleri, sıvı metalin doldurulma (basıncılı ve basınçsız) biçimi gibi faktörlerden etkilendiği belirtilmektedir. Özellikle az sayıda bileşenden (gidici, curufluk, meme v.s.) oluşur ve basit ise o kadar kolay ve sakın sıvı metal akışının sağlanabildiği vurgulanmaktadır.

Tüm bu nedenlerden dolayı Bölüm 2.2'de de ifade edildiği gibi vakum ile sağlanan ters yer çekimi döküm yönteminde ise bir çok esneklik ve avantajlar bulunmaktadır (Resim 2.9 ve Resim 2.10). Bu yöntemde öncelikle sıvı metal kalıba sakın bir şekilde, çalkantısız ve türbülans oluşmadan vakum etkisiyle doldurulduğu için oluşabilecek döküm hataları önlenabilmektedir. Yine bu yöntemde kalıp malzemesi olarak; yaş kum, metal, alçı, seramik, grafit, reçineli kalıp malzemeleri gibi geleneksel döküm yöntemlerinde kullanılan kalıplara uygulanabilmesi yöntemin avantajlı yönlerinden birisini oluşturmaktadır [10,11,14,16,43].

### **2.3.2. Dökülebilirlik açısından karşılaştırma**

Dökülebilirlik sıvı metalin kolayca kalıp içerisinde ilerlemesi ve boşlukları doldurabilmesi anlamına gelmektedir. Bu amaçla sıvı metal pres, gaz basıncı gibi çeşitli şekillerde kalıp içerisine gönderilmektedir [44-48]. Bunun yanında sıvı metalin akıcılığının artırılması amacıyla döküm sıcaklığının artırılması, kalıp yüzeylerinin boyanması (kaplama) gibi yöntemler de bulunmaktadır

[1,6,9]. Ancak, belirtilen yöntemler akıcılığın artırılmasında katkı sağlamasına rağmen hem çeşitli döküm hatalarına, hem de maliyetin artmasına yol açmaktadır. Bu sebeple vakum ile yerçekimine ters döküm yöntemi kullanılarak döküm hataların önlenmesi mümkündür.

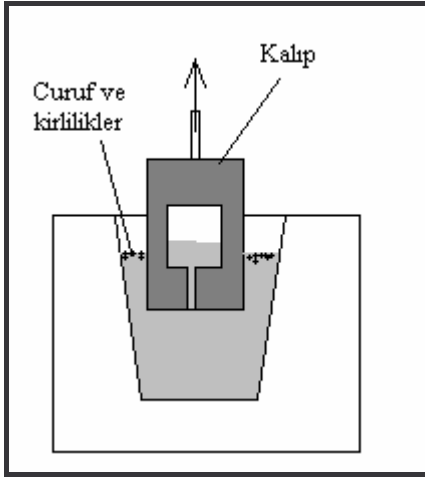


Şekil 2.5. Döküm sıcaklığı ve kaplama durumuna bağlı olarak geleneksel ve yerçekimine ters döküm yöntemlerinde akıcılığın değişimi [1]

Bu yöntemde vakum yardımıyla sıvı metal kalıp içerisine doldurulduğundan dolayı metal sıcaklığının yükseltilmesine gereksinim yoktur (Şekil 2.5). Bunun nedeni vakum ile kalıp içerisinde döküm sırasında oluşan kalıp iç basıncının yok edilmesi sonucu metalin akışı kolaylaşmakta ve çok daha rahat bir şekilde ince kesitli (1 mm veya daha ince) parçaların ve her türlü alaşımın dökümü yapılabilmektedir [1,3,6,14-16,39].

### 2.3.3. Metal temizliği açısından karşılaştırılması

Döküm işleminde en önemli problemlerden birisi curuf ve inklüzyonların kalıba girmesi ve hatalı parça imalatına yol açmasıdır. İçerisinde curuf ve inklüzyonların bulunduğu sıvı metal ile döküm sonucunda, üretilen döküm parçaların özellikleri olumsuz yönde etkilenmektedir. alışmalar [50,51] içerisinde bu tür kirlilikler bulunan döküm parçaların çalışma ömürlerinin ve dayanımlarının azaldığını göstermektedir. Aynı zamanda, bu tür kirliliklerin döküm parçaların üretiminde gaz hatalarının oluşumunu artırdığı belirtilmektedir [51]. Kirlilik oranındaki artışa bağlı olarak gözenek miktarının arttığı ifade edilmekte ve bunun sonucunda döküm parça mekanik özelliklerinin kötüleştiği belirtilmektedir.



şekil 2.6. Sıvı metal temizliğinin doldurulma biçimi açısından vakum ile yerçekimine ters dökümde avantajının gösterilmesi

Sıvı metaldeki bu kirliliklerin bir ok kaynağı bulunmaktadır. Bunlar; ergitilen metalin kendisi, ergitme ünitesi, sıvı metal taşıma ve döküm işlemlerinde kullanılan araç ve gereçler, kalıp malzemesi, sıvı metalin ergitildiği atmosferden etkilenme durumu gibi etkenlerdir. Pota ile sıvı metalin kalıplara dökümünün gerçekleştirildiği geleneksel döküm yöntemlerinde bu problem çok sık oluşmaktadır. Bu amaçla bir çok maliyet arttırıcı ve uygulamayı güçleştiren ilave metalurjik işlemlere ihtiyaç bulunmaktadır. Bu yöntem,

kalıbın yolluğunun ergitme ocağına daldırılması ile yüzeyde bulunan curufun altından ocağın temiz metal bulunan kısmından kalıbın doldurulması (Şekil 2.6) ve döküm potası gibi gereçlerin kullanılmaması sonucunda avantajlı hale gelmektedir. Bunların sonucunda ise döküm parça özellikleri gelişmektedir [1,5,10,14,52].

#### **2.3.4. Dökümlerde oluşabilen gaz problemleri açısından karşılaştırılması**

Dökümlerde gaz problemleri çok önemli yer tutmaktadır. Gaz giderme amacıyla bir çok işlem yapılmakta ve ayrıca zaman kayıpları söz konusu olmaktadır. Sıvı metalin ergitilmesi ve pota ile kalıba dökülmesi sırasında metalin atmosferle temas etmesi sonucunda gaz alması artmakta ve bu durum ise hatalı parça üretimine yol açarak döküm parça özelliklerinin kötüleşmesine, maliyetin artmasına ve zaman kaybına neden olmaktadır.

Basınçlı (pres) döküm uygulamalarında üretilen döküm parçalar geleneksel döküm ile üretilen parçalardan daha iyi özelliklere sahip olmasına rağmen, bu tür dökümlerde oluşan en önemli problemin gözenek olduğu bir çok çalışma sonucunda görülmektedir [33,34,40,42,50,51,53-55]. Basınçlı döküm uygulamalarında bu tür problemlerin giderilmesi için yoğun çalışmalar yapılmaktadır. Bu amaçla; uygulanan basıncın azaltılması, yolluk sisteminin yeniden tasarlanması, basınçlı dökümlerde vakum takviyesi yapılması üzerinde çalışılan teknikler olduğu görülmektedir.

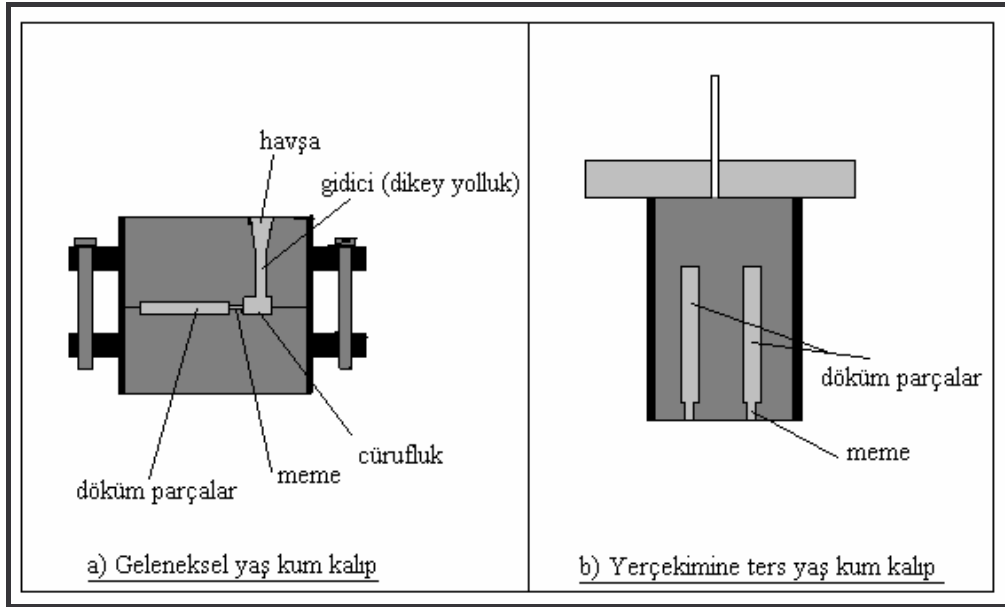
Vakum ile yerçekimine ters döküm yönteminde sıvı metal ergitme ocağından çıkarılmadan yada diğer bir ifadeyle pota ile döküm yapılmadığından dolayı sıvı metalin gaz alma riski azalmaktadır. Ergitme ocağında koruyucu bir atmosferde (gaz yada flaks gibi) ergitme işleminin yapılması durumunda ergitme işlemi sırasında atmosferle metalin temasının tamamen kesilmesi nedeniyle gaz alma ve normal atmosferde ergitilemeyen alaşımların döküm işlemleri başarıyla yapılabilmektedir. Aynı zamanda yerçekimine ters döküm işlemlerinde yolluk sisteminin basit ve az bileşenden oluşması, daha da

önemlisi vakum yardımıyla sıvı metalin kalıp içine sakin bir şekilde çalkantı oluşmadan (Resim 2.9 ve Resim 2.10) doldurulabilmesi bakımından gözenek oluşumunun önlenmesinde önemli avantajlar sağlanmaktadır [9,10].

### **2.3.5. Kalıp tasarımı ve üretimi açısından karşılaştırılması**

Bu yöntemde geleneksel yöntemlere kıyasla kalıp tasarımında daha az ek yolluk sistemi bileşeni, kullanılan araç-gereç ihtiyacının en az düzeyde olması önemli bir avantaj sağlamaktadır. Geleneksel yöntemlerde yolluk sistemi; gidici (dikey yolluk), curufluk, soğutucu, çıkıcı ve besleyici gibi bir çok parçadan oluşmaktadır. Bu kadar ilavenin etkisinin döküm tasarımında tek tek göz önünde tutulması ve kontrol edilmesi gerekmektedir. Bu yöntemde ise bu ifade edilen sistemlerden curufluk, meme, çıkıcı ve besleyici gibi ek sistemlerin kullanılma ihtiyacının olmaması yöntemin daha basit ve kolay uygulanabilir olmasına neden olmakta ve avantaj sağlamaktadır (Şekil 2.7). Tüm bunlara bağlı olarak; yöntemde göz önünde tutulması gereken tasarım karmaşası azalmaktadır [2,3,9,10,13,26,28,52].

Geleneksel yöntemlerde döküm parçaya yolluk bağlantıları parça geometrisine bağlı olarak genellikle yandan, üstten ve alttan yapılmaktadır. Parçaların alt kısmından yapılan yolluk bağlantıları tasarım ve işlem zorlukları nedeniyle özellikle kum ile hazırlanan kalıplarda çok az kullanılmaktadır. Yerçekimine ters döküm yönteminde döküm parçaların hemen hemen tümünde alt kısımdan ve sadece meme bağlantısı ile sıvı metal kalıba doldurulabilmektedir. Bu nedenle yerçekimine ters döküm yöntemi ile sıvı metal kalıba alt kısımdan çok yavaş ve sakin bir şekilde doldurulabildiğinden geleneksel yöntemlerde meydana gelen çalkantı yada türbülanslı akışın neden olduğu problemleri önlenebilmektedir. Bu ise daha sağlam ve temiz bir döküm parça elde edilmesini sağlamaktadır [2,9].



Şekil 2.7. Kalıp tasarımı bakımından geleneksel ve yerçekimine ters yaş kum kalıplarının karşılaştırılması

### 2.3.6. Üretim maliyeti açısından karşılaştırılması

Yukarıda ifade edilen yolluk sisteminde bulunan parça sayısının azaltılması sonucunda döküm sırasında metal kayıpları azalmakta ve buna bağlı olarak maliyet de azalmaktadır. Ayrıca yerçekimine ters döküm yönteminde döküm parçalar katılaştıktan sonra yolluktaki sıvı metal ocağa boşaltılabilmektedir [2,9,10,26]. Ayrıca kalıpta çok sayıda parçanın birlikte dökülebilmesi sayesinde üretim hızı artmakta ve maliyet ise azalmaktadır [5]. Kalıp maliyetinin azaltılması ise çok sayıda parçanın dökülebilmesi yanında başarılı parça üretimi, kalıp kesit kalınlığının mümkün olan ölçülerde azaltılması, yolluk sisteminin sayısının azaltılması ve yolluktaki metalin sıvı kalması neticesinde tekrar ergitme ocağına boşaltılabilmesi gibi faktörler de bu yöntemi avantajlı hale getirmektedir [2,9,10].

### 2.3.7. Elde edilen döküm parça özellikleri açısından karşılaştırılması

Döküm parça üretiminde uygulanan işlemler ve kullanılan teknikler üretilen döküm parçaların özelliklerini belirlemede etkili olan en önemli faktörlerdir.

Parçanın tasarımından başlayarak üretimin en son aşamasına kadar yapılan işlemlerin ve uygulanan tekniklerin basit ve kolay olması tercih edilir. Bunlarla birlikte üretilen parçaların sağlam, dayanıklı, yüksek yoğunluğa sahip, gözeneksiz ve hataların bulunmaması ve döküm sonrası temizleme gibi işlemlerin mümkünse en az oranda olması istenir.

Düşük döküm sıcaklığında üretim, sıvı metal temizliğinin sağlanması, yüksek yoğunlukta, gözenek bulunmayan, küçük tane boyutu gibi sebeplerle yerçekimine ters döküm yöntemi ile üretilen döküm parça özellikleri geleneksel yöntemlere kıyasla daha iyi olmaktadır. Yapılan çalışmalarda bu yöntem ile üretilen parçalarda sözü edilen sebeplerle sağlam ve üstün özelliklerin elde edilebildiği görülmektedir [1-4,9,10,15]. Benzer alaşımların geleneksel ve 51,73 - 517,30 mmHg vakum miktarları ile yerçekimine ters yöntemi ile dökümü sonucunda elde edilen özellikleri değişimi örnek olarak Çizelge 2.1'de verilmiştir.

Çizelge 2.1.Yerçekimi ve yerçekimine ters döküm yöntemlerinin bazı alaşımlar için karşılaştırılması [2,9]

Alaşım	Döküm Yöntemi	Akma Dayanımı (psi)	Çekme Dayanımı (psi)	Uzama (%)	Kesit Daralması (%)
A356 Alüminyum	Yer Çekimi döküm	33,300	44,300	8,0	-
	Yerçekimine ters	36,100	49,000	14,0	-
17-4PH Çelik	Yer Çekimi döküm	170,600	177,200	11,0	35,0
	Yerçekimine ters	179,600	181,400	13,5	47,0

Aynı zamanda araştırmalar sonucunda yerçekimine ters döküm ile gözenek miktarının azaldığı [3,9,15], akıcılığın iyileştiği [1,3,4,10], döküm parçaların tane boyutunun küçüldüğü [3,10], kirliliklerin azaltıldığı [3,15] ve üretilen parçaların makine işlemlerinin kolaylaştığı [3] ifade edilmektedir.

## **2.4. Yerçekimine Ters Döküm Yöntemi Uygulamalarında Etkili Olan Faktörlerin Değerlendirilmesi**

### **2.4.1. Kalıp malzemesinin özelliklerinin kontrolü**

Döküm kalıp malzemelerinde en önemli özellikler refrakterlik, kalıbın gaz geçirgenliği, sağladığı yüzey kalitesi, ısı karşısındaki şeklini koruması, yaş ve kuru dayanımı olarak sıralanabilir. Diğer özelliklerinin dışında vakum ile yerçekimine ters döküm yönteminde kalıp malzemesinin geçirgenliği çok büyük önem taşımaktadır. Çünkü; sıvı metalin kalıba doldurulması sırasında vakum ile emme yaparken kalıp geçirgenliği ne kadar iyi ise bu işlem o derece kolay gerçekleştirilecektir. Eğer bu yöntemde yeterli geçirgenliğe sahip olmayan kalıp malzemesi (metal, alçı gibi) kullanılıyor ise kalıpta çeşitli kanalların açılması emme işlemini kolaylaştırıcı bir yöntem olacaktır [3,5,52].

Kalıbın gaz geçirgenliği ve tasarımı vakum ile sıvı metalin hızlı ancak sakın bir şekilde kalıbı tam olarak doldurması için gerekmektedir. Daha önce bu konuda yapılan bir çalışmada [10]; kabuk kalıp bu amaç için pin pon topu (küre) şeklinde hazırlanmıştır. Küre kurutulduktan ve 899 °C sıcaklıkta ön tavlama yapıldıktan sonra 1 psi (51,73 mmHg)'lik basınç ile kalıp içerisinden N<sub>2</sub> gazı geçirilmiştir. N<sub>2</sub>'un akış hızı ölçülmüş ve yaklaşık olarak 100cc/ N<sub>2</sub> / min yada yaklaşık 14cc / N<sub>2</sub> / min / in<sup>2</sup> olarak tespit edilmiştir. Bu durum 10 psi (517,30mmHg)'lik basınçta ise 130cc/ N<sub>2</sub> / min / in<sup>2</sup> olmaktadır. Bu sonuç ise kabuk kalıpların yeterli oranda geçirgenliğe sahip olduklarını göstermektedir. Ayrıca buradan hareketle benzer özelliklerdeki diğer kalıp malzemelerinin de vakum ile yerçekimine ters döküme uygunluğunun olabileceği sonucu doğmaktadır.

### **2.4.2. Döküm parça katılma şekli ve katılma süresinin kontrolü**

Döküm işlemlerinde kullanılan metalin katılma sıcaklığı, tek sıcaklıkta yada bir sıcaklık aralığında katılmanın meydana geldiği gibi özelliklerinin

bilinmesi büyük önem taşımaktadır. Bu durum sıvı metalin akıcılığının, döküm yapılacak sıcaklığın, katılma süresinin tespit edilmesi için gereklidir. Sıcaklığın artmasına bağlı olarak akıcılık artmakta, ancak katılma süresi uzamaktadır. Yüksek sıcaklıklar sonucunda; kaba tane yapısı ve gaz hatalarının oluşması, besleme ihtiyacının artması gibi olumsuzluklar meydana gelmektedir [6,29,39,41,52,53]. Tek sıcaklık noktasında katılan saf metallerin ve ötektik bileşime sahip alaşımların akıcılıkları, katılma aralığı gösteren alaşımlara kıyasla yüksektir [6,52]. Geleneksel döküm yöntemlerinde akıcılığın artırılması için sıvı metal sıcaklığının yükseltilmesi çok yaygındır. Ancak yerçekimine ters döküm yönteminde çok ince kesite sahip parçalar düşük döküm sıcaklıklarında vakum yardımıyla kolaylıkla üretilebilmektedir. Bu durum yöntemin önemli avantajlarından birisidir [4,6,9,12,14,15].

#### **2.4.3. Kalıp boyutları ve fiziki özelliklerinin kontrolü**

Kalıp boyutları döküm sırasında vakumun uygulanma süresi ve kalıp tasarımının yapılması açısından önem taşımaktadır. Kullanılan kalıp malzemesinin yaş ve kuru dayanımı, kumun akıcılık, yaş ve kuru gaz geçirgenlik, nem miktarı gibi özellikleri AFS Mold and Core Testing Book'ta belirtildiği şekilde ve uygulanan teknikler ile yapılmaktadır. Bu testlerin sonuçlarına bağlı olarak kalıbın fiziki özelliklerinin bu yöntemde uygunluğu tespit edilmiş olur. Fiziki özellikleri doğru olarak tespit edilmiş olan bir döküm kalıbı ile yapılacak döküm işlemi sonucunda hedeflenen sonuçlara ulaşılması kolay olacaktır [26,28,52].

#### **2.4.4. Model malzemesi, şekli ve özelliklerinin kontrolü**

Bu yöntemde de geleneksel yöntemlere benzer model malzemeleri (ağaç, metal, plastik v.s.) kullanılmaktadır. Model şekli bakımından geleneksel yöntemlerden farkı yoktur. Her türlü şekle sahip döküm parça üretimi başarı ile gerçekleştirilebilmektedir [2,3,5,6,9,16,26].

#### **2.4.5. Döküm işlemleri ve kontrolü**

Döküm işlemi için sıvı metalin hazırlanması; metalin ergitilmesi, sıvı metale uygulanan metalurjik işlemler açısından geleneksel döküm yöntemleri ile aralarında fark bulunmamaktadır. Bu yöntemin farkı döküm işleminin geleneksel yöntemlerin aksine yer çekiminin tersi yönünde döküm işleminin yapılmasıdır. Döküm işlemi sırasında pota kullanılmaması bu yöntemin en önemli farklılığını oluşturmaktadır. [2-4,9,10].

#### **2.5. Genel Değerlendirme**

Vakumla yerçekimine ters döküm işlemleri genellikle; çok ince kesitli, iyi yüzey kalitesi istenilen, net şekle sahip yada nete yakın ölçülerde ve döküm işleminin özel olarak yapılması (vakum, koruyucu atmosfer v.s.) gereken alaşımların üretilmesinde kullanılan bir döküm işlemidir. Sıvı metalin kalıba doldurulmasında vakumun kullanılması bir çok avantajlar sağlamaktadır. Ayrıca; diğer döküm yöntemlerinde kullanılmakta olan kalıp ve alaşımların tümüne uygulanabilir olması da bu yöntemin üstün tarafını teşkil etmektedir. İlaveten; yöntemin uygulanması sırasında geleneksel döküm yöntemlerinde meydana gelen bazı döküm hatalarının önlenmesi önem taşımaktadır. Ancak, mevcut döküm yöntemlerinden her türlü döküm parça üretiminde tam yeterli olması beklenilmemelidir. Buradan hareketle vakumla yerçekimine ters döküm yöntemlerinin diğer döküm yöntemlerine oranla bir çok avantajları bulunmasına karşın tüm beklentilere cevap verebileceği düşünülmemelidir.

### 3. YAŞ KUM KALIBA DÖKÜM YÖNTEMİ

Bu çalışmada kullanılan kalıpların yaş kumdan hazırlanması nedeniyle; bu kalıp malzemesinin özellikleri, kalıpların hazırlanması ve döküm işlemlerinde dikkat edilmesi gereken hususlardan bir bölüm halinde bahsedilmesi uygun görülmüştür. Yaş kum kalıba döküm yöntemi, sıvı metalin hazırlanan kalıplara dökülmesi suretiyle parça üretim yöntemlerinden birisidir. Bir çok kum kalıp türünden birisi de yaş kum kalıp yöntemidir. Yaş kum kalıplarda genellikle kullanılan kum malzemesi silis ( $\text{SiO}_2$ )'dir. Bu yöntem bir refrakter malzeme olan kum, kum tanelerinin bağlanmasını sağlayan kil (bentonit) ve kilin bağlayıcı özelliğini sağlayan su karışımından meydana gelen kalıplara döküm işleminin yapıldığı bir döküm biçimidir [13,17,26].

Çizelge 3.1'de yaygın şekilde kullanılmakta olan yaş kum kalıp malzemesi bileşen oranları verilmektedir. Çizelgedeki malzemelere ilave olarak dökme demir alaşımlarının dökümünde kömür tozu (% 2-10) kullanılmaktadır. Kumun tane şekli yuvarlak veya buna yakın olması tercih edilmektedir. Bu şekilde sahip kum ile iyi özelliklerde ve sağlam kalıpların üretilmesi mümkün olmaktadır. Kum tane boyutu ise AFS tane numarası (AFS 50, AFS 70 gibi) ile ifade edilmektedir. İnce yada küçük taneli kumlar düşük ergime sıcaklığına sahip metal ve alaşımları ile iyi yüzey kalitesi istenilen döküm işlemlerinde kullanılmaktadır. Yaş kum kalıplama yönteminde her türlü metal ve alaşımın dökümü yapılabilmektedir. Ayrıca parça şekil ve boyutları açısından sınırlama bulunmamaktadır. Bu nedenlerle dünyada en yaygın kullanılan döküm yöntemidir.

Çizelge 3.1.Yaş kum kalıpların içeriklerinin % ağırlık cinsinden oranları [13,17]

Malzeme	Silis kumu	Su	Kil
Miktar (%)	88-91	4-6	5-6

Buna ilaveten üretim maliyetinin düşük olması ve üretim şartlarının kontrol kolaylığı gibi özelliklerinden dolayı diğer kum kalıplara (sentetik reçineli, sodyum silikatlı, alfa-set gibi) döküm ve kumun dışındaki kalıp malzemeleri kullanılan döküm yöntemlerine kıyasla işlemlerinin kolaylığı açısından yaş kum kalıba döküm yöntemi tercih edilmektedir [13,17,26].

### **3.1. Kullanılan modeller**

Yaş kum kalıba döküm yöntemlerinde, hemen hemen her türlü model malzemesi (ağaç, metal, polyester, köpük, plastik gibi) ile üretim yapmak mümkündür. Modeller tasarımı yapıldıktan sonra modelciye resmi verilerek üretilir. Günümüz şartlarında en son teknolojik imkanlarla (CNC gibi) modellerin üretimleri kolay bir şekilde yapılabilmektedir. Bunlar yöntemin önemli bir avantajını oluşturmaktadır. Kullanılan modellerde aranılan en önemli özellik kalıplama sırasında şeklini ve boyutlarını koruyabilmesidir [13,17,26].

### **3.2. Kalıplama işlemlerinde kullanılan dereceler**

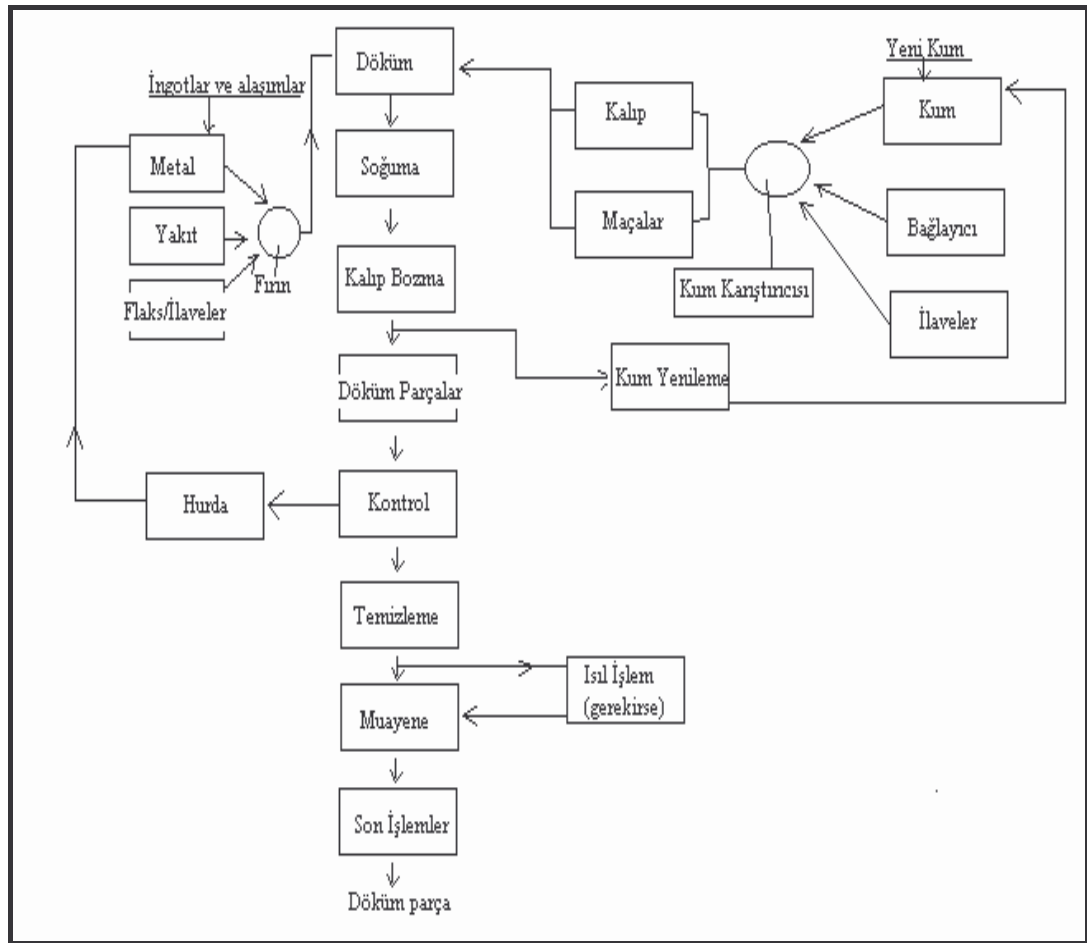
Yaş kum kalıba döküm yöntemlerinde, ağaç ve metalik (çelik, alüminyum, dökme demir v.s.) malzemelerden yapılan dereceler yaygın olarak kullanılmaktadır. Derece şekli ve boyutları üretilecek parçaya bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir. Aynı zamanda eski bir yöntem olan ve çok büyük parçaların dökümünde kullanılan yerde kalıplama ve DISAMATIC gibi tam otomatik sistemlerde derecesiz olarak kalıplama yapabilme imkanları da yönetime çok önemli avantajlar getirmektedir [13,17,26].

### **3.3. Yaş kum döküm kalıplarının hazırlanması**

Temel olarak el ve makine ile kalıplama olmak üzere iki türlü yaş kum kalıp hazırlama şekli bulunmaktadır. Genellikle, makine ile kalıplama yapılan

büyük işletmelerde özel ve az sayıda işlerin yapıldığı durumlarda ve küçük dökümhanelerde el ile kalıplama biçimi tercih edilmektedir.

Yaş kum kalıpların el ile hazırlanmasındaki aşamalar Şekil 3.1'de gösterilmektedir. Burada ilk adım kalıp ve maça kumlarının hazırlanmasıdır. Bu aşamada önce kuru bileşenler (silis ve kil) karıştırma ünitesinde (koller, mikser gibi) karıştırılmakta, ardından yeterince su ilave edilerek karıştırma işlemi tamamlanır. Karıştırma süresi homojen karışımın elde edilmesi için önem taşımaktadır. Bu süre genellikle 10 dakika kuru ve 10 dakika yaş karıştırmak üzere toplam 20 dakikadır. Hazırlanan kum derece içerisine doldurularak sıkıştırılır.



Şekil 3.1. Yaş kum kalıp yönteminde işlem aşamaları [13]

Daha sonra modelin bulunduğu yüzey üste çevrilerek üst derece yerleştirilir ve derece içerisine yolluk, curuluk, besleyici ve çıkıcı gibi elemanlar yerleştirilip doldurulan kum ile sıkıştırma yapılır. Sıkıştırma işleminin ardından üst kalıplar açılır. Bu kalıp yarımaları üzerinde meme, havşa gibi gerekli kanalların açılması ve modelin kalıptan çıkarılması işlemleri yapılır. Döküm parçada boş çıkması gereken kısımlara hazırlanan maçalar yerleştirilerek alt ve üst dereceler tekrar ilk konumlarındaki gibi üst üste yerleştirilerek kalıp kapatılır [13,17,26].

### **3.4. Ergitme ve döküm işlemleri**

Tüm geleneksel yerçekimi ile yapılan döküm işlemlerinde olduğu gibi metal çeşitli ergitme ocaklarında ergitilir. Hazırlanan kalıba ergitme ocağından bir pota ile alınan sıvı metal dikey yolluktan doldurulur. Metal doldurulduktan sonra katılaşması ve oda sıcaklığına kadar soğuması beklenir. Oda sıcaklığına soğuyan döküm parça el veya kalıp bozma makinesi yardımıyla kalıp içerisinden çıkarılır. Parça üzerindeki yolluk sistemi parçaları kesilerek işlem tamamlanır [13,17,26].

### **3.5. Dökülen metal ve alaşımlar**

Yaş kum döküm yöntemi ile atmosfer ortamında üretilebilen her türlü metal ve alaşımın dökülebilmesi mümkündür [13,26].

### **3.6. Yaş kum kalıba döküm yönteminin avantaj ve dezavantajları**

Yaş kum kalıba döküm yönteminin bazı avantajları aşağıda verilmiştir.

- ✓ En yaygın ve kolay uygulanabilen döküm yöntemidir. Kalifiye eleman ihtiyacı diğer yöntemlere göre daha azdır.

- ✓ Kalıp malzemeleri düşük maliyette, ince parça detaylarının elde edilmesine uygun ve ısıya direnci iyidir.
- ✓ Yöntem demir ve demir dışı metal ve alaşımlarının dökümüne uygundur.
- ✓ Çok küçük ve büyük (1 tonun üzeri) döküm parçaların üretimine uygundur.
- ✓ Uygun şartlarda üretim yapılırsa toleranslara uygun parça üretmek mümkündür.
- ✓ Kalıp hazırlama süresi bir çok döküm yöntemine oranla daha kısadır.
- ✓ Yöntem makine ile üretim için esnekliğe sahiptir.
- ✓ Kalıplama işlemlerinde kullanılan malzemeler çevre kirliliği ve sağlığı bakımından tehlike oluşturmamaktadır.

Yaş kum kalıba döküm yönteminin bazı dezavantajları aşağıda verilmiştir.

- ✓ Kum / metal oranı oldukça yüksektir. Kalıp dayanımı ve başarılı bir döküm için kullanılan kalıp malzemesi miktarı diğer yöntemlere oranla daha fazladır. Ancak kumun tekrar kullanılabilmesi bu dezavantajı biraz azaltmaktadır.
- ✓ Bir çok malzeme ve döküm yöntemine oranla üretilen parçaların boyutsal hassasiyetleri düşüktür.
- ✓ Bu yöntem ile üretilen parçaların diğer yöntemlere kıyasla kum özellikleri nedeniyle yüzey kaliteleri düşüktür. Bu nedenle döküm sonrasında ek temizleme işlemlerine ihtiyaç duyulur.

#### **4. SAĞLAM DÖKÜM PARÇA ÜRETİMİNDE ETKİLİ OLAN FAKTÖRLERİN DÖKÜM YÖNTEMLERİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ**

Sağlam döküm parça üretiminin gerçekleştirilmesinde etkili olan faktörlerin döküm yöntemleri açısından belirlenmesi üç ana konu üzerinde yapılacaktır.

Bunlar;

- ✓ Sıvı metalin akıcılığı ve akışa etki eden akış hızı, yolluk sistemi, sıcaklık ve basınç, parça boyutu ve şekli,
- ✓ Metal ve alaşımların katılma biçim ve özellikleri ile bu özelliklere etki eden döküm sıcaklığı ve basıncının etkileri,
- ✓ Özellikle kalın kesitli döküm parça üretiminde en önemli problemlerin başında gelmekte olan besleme ile ilişkili olarak döküm sıcaklık ve basıncı, parça boyut ve şekli gibi konular çerçevesinde döküm yöntemlerinin farklılıkları değerlendirilecektir.

##### **4.1. Sıvı Metal Akıcılığı ve Akışı Etkileyen Faktörlerin Değerlendirilmesi**

Akıcılık; sıvı metalin katılma olmadan önce kalıp boşluğunu tam ve hiçbir hata oluşturmadan doldurulması yada başka bir deyişle dökülebilirlik olarak ifade edilebilir. Akıcılığı birçok faktör etkilemektedir [6,52].

Bunlar;

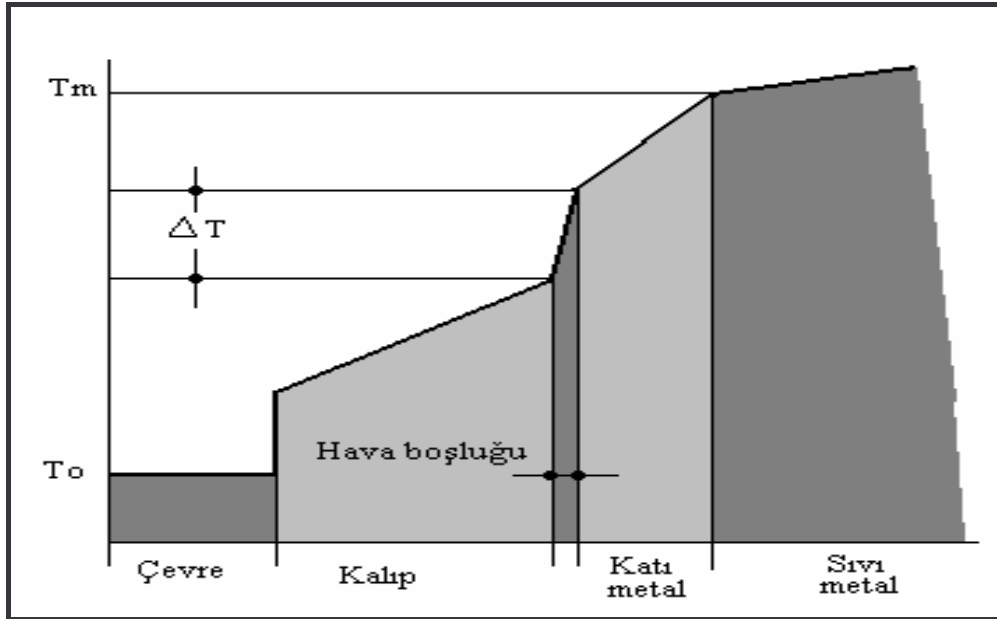
1. Kalıp malzemesi ve özellikleri,
2. Kalıp şekli ve boyutları,
3. Sıvı metal bileşimi ve döküm sıcaklığı,
4. Sıvı metal içerisindeki curuf ve diğer kirlilikler,
5. Döküm işlemi ve yolluk dizaynı,
6. Sıvı metal içerisindeki gaz oluşumu ve gaz miktarları,

7. Döküm kalıbının ön ısıtma yapıp yapılmadığı,
8. Sıvı metalin döküş biçimi ve bunları etkileyen faktörler olarak sayılabilir.

Bu etkenler dikkatli olarak kontrol edildiği takdirde sıvı metalin akışı ve akıcılığına bağlı olarak yaşanabilecek problemler ve döküm hataları daha oluşmadan giderilmiş olacaktır. Ancak bilindiği gibi döküm işlemi bir çok faktör ve bileşenin birlikte etkilediği çok karmaşık bir malzeme üretim işlemidir. Bir döküm işleminin yapılması sırasında, en başta parça dizaynı ve döküm tasarımından başlayarak döküm parçanın kalıp içerisinden çıkarılıp nihai ürünün elde edilmesine kadar çok sayıda faktörün kontrol edilmesi gereklidir. Aksi takdirde yapılan her hangi bir hata sonucunda hedeflenen döküm parça üretiminde hatalar meydana gelecektir.

Akıcılıkla ilgili çalışmalarda [4,6,44-48,52] bu konulara dikkat çekilmektedir. Dökümlerin çoğu atmosfere açık bir yolluk sistemi kullanılarak, yer çekimi ile sıvı metalin kalıp boşluğuna doldurulması esasına dayanarak gerçekleştirilmektedir. Bu basit ve hızlı yapılabilen bir yöntemdir. Her türlü kalıp malzemesi kullanılarak yer çekimi ile döküm günümüzde en yaygın uygulanan döküm şeklidir. Bunun yanında alçak basınç yardımı ile hemen hemen tüm kalıp malzemelerinden üretilen kalıplara döküm işlemleri yapılmaktadır. Genellikle bu tür geleneksel yöntemler ile yapılan dökümlerde yolluk sistemleri bir çok parçadan oluşmakta ve işlemler karmaşıklaşmaktadır. Ayrıca bu tür sistemlerde, kalıp içerisinde sıvı metalin yüzey gerilimi ve çalkantı oluşması gibi daha bir çok döküm hatasının oluşumunu etkileyen faktörler bulunmaktadır.

Döküm işlemlerinde oluşan ısı transfer özellikleri; sıvı metalin döküm sırasındaki herhangi bir zamanda katılmış durumdaki metal miktarı, metal-kalıp ara yüzeyi, kalıp ve kalıbın çevresi tarafından etkilenir. Şekil 4.1'de bu konudaki ısı profili değişimi verilmiştir [52]. Isının en yüksek olduğu yer sıvı metalin kendisi, en düşük olduğu yer ise çevre olmaktadır.



Şekil 4.1. Döküm sırasında meydana gelen ısı transfer profili [52]

Sıvı metal dökümün her hangi bir safhasında ısı kaybeder ve katılaşma başlar. Bu durumda sıvı metalin en fazla kat edebileceği mesafeye sıvı metalin akıcılığı ( $L_f$ ) denilmektedir. Sıvı metallerin akıcılıkları hazırlanan değişik akıcılık düzenekleri ile tespit edilmektedir [6,52].

$$\text{Akıcılık, } L_f = V * t_f \quad (4.1)$$

Şeklindeki bir eşitlikle ifade edilmektedir. Eşitlikteki;

$L_f$ = maksimum sıvı metal akıcılığı

$V$ = kabaca akış (döküş) hızı (m/dak)

$t_f$ = kesite bağlı katılaşma süresini (dakika) sembolize etmektedir. Eşitlikte sıvı metalin akıcılığı iki faktöre bağlı olarak değişmektedir.

Ancak bu eşitlikte sıvı metal bileşimi ve kalıp malzemesi gibi faktörler eşitliğe ilave edilmemiştir. Sıvı metalin % 50'sinin katılaştığı durumda ise  $L_f$  yarı yarıya azalmaktadır ( $L_f = V * t_f / 2$ ). Bu durum akıcılık hesaplamalarında sıvı metalin kendisi gibi bir çok döküm faktörünün göz önünde tutulması

gerektiğini göstermektedir [52]. Sıvı metalin sıcaklığı yükseltildiğinde akıcılık artmaktadır [4,6,52]. Sıvı metal bileşimine ve katılma aralığına bağlı olarak akıcılık değişim göstermektedir. Saf metallerin akıcılıkları alaşımlara göre daha yüksek olmaktadır. Dar katılma aralığına sahip bir malzemenin akıcılığı geniş katılma aralığına sahip malzemeye göre daha fazla olmaktadır [6,52].

Akıcılık ( $L_f$ ) ve katılma süresi ( $t_f$ ) ilişkisi göz önüne alındığında katılma süresinin artması akıcılığı artırmaktadır. Bu durum sıvı metal yada kalıp sıcaklığının artırılması ile de sağlanabilmektedir. Diğer yandan, akıcılık ısı transfer hızına da bağlı olarak değişmektedir. Isı transferi hızı ise; sıvı metal sıcaklığı, kalıp malzemesi cinsi, kaplama yapılmış ise kaplama malzemesi cinsi ve kalınlığı, döküm parça modülü ( $V/A$ ) gibi bir çok faktörden etkilenmektedir [5,6,13,14,52].

#### 4.1.1. Kalıp malzemesi ve özellikleri

Kalıp malzemelerinin ısı transfer hızları, kalıp malzeme çeşitleri arasında farklılıklar gösterir. Çizelge 4.1 değişik kalıp malzemelerinin ısı transfer katsayılarına bağlı olarak katılma sürelerini göstermektedir.

Çizelge 4.1. Değişik kalıp tiplerinin ısı iletim özelliklerine bağlı nispi katılma süreleri [17]

Kalıp malzemesi	Metal	Yaş kum	Sentetik bağlayıcı	Seramik	Alçı
Katılma süresi (dak)	1	1,5	1,7	2	4

Buradan ısı kapasitesinin düşük olmasından dolayı en düşük ısı transferine ve en uzun katılma süresine sahip kalıp malzemesinin alçı kalıplar olduğu görülmektedir. Kalıp malzemesi cinsine bağlı olarak yüzey pürüzlülüğü arttıkça akıcılık azalmaktadır. Kalıp içerisindeki sıvı metalin yüzey gerilimi ve kalıp yüzey pürüzlülüğü akıcılığı etkilemektedir. Yüzey gerilimi ve kalıp yüzey

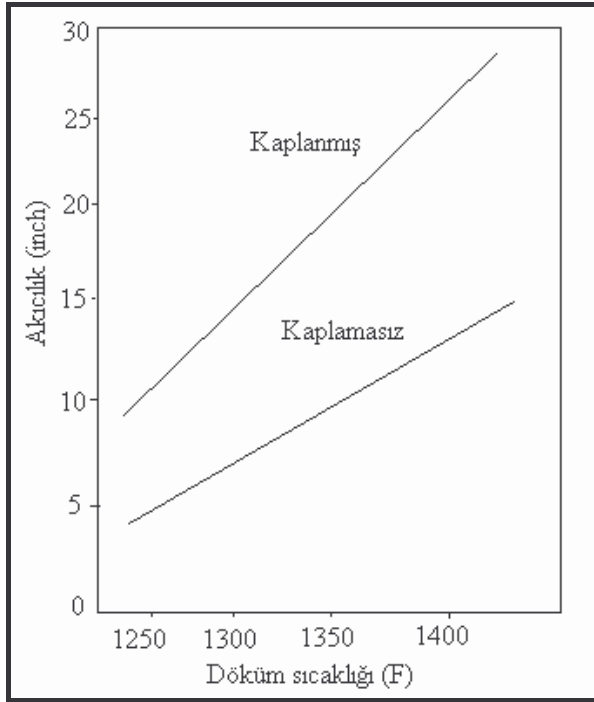
pürüzlülüğündeki artışla birlikte akıcılık azalmaktadır. Gaz geçirgenliği düşük olan kalıplarda sıvı metalin kalıp içerisinde ilerlemesine karşı ters yönde bir iç basınç oluşması nedeniyle sıvı metalin akışı zorlaşmakta ve akıcılık azalmaktadır. Kalıp içerisindeki metalin kolayca ilerleyebilmesi amacıyla kalıplama işlemlerinde çıkıcıların kullanımı çok yaygın bir metottur [1,4,6,14,31,32,52].

Kalıp yüzeylerinin kaplama (boyama) yapılması ile yüzey pürüzlülüğü azaltılmaktadır. Bunun sonucunda akıcılık artmaktadır. Yüzeyleri kaplama yapılmış ve kaplama yapılmamış kum kalıpta değişik sıcaklıklarda döküm işlemleri sonucunda elde edilen akıcılık miktarları açısından büyük farkların olduğu görülmüştür. Kaplama yapılan kalıpta elde edilen akıcılık değerlerinin kaplama yapılmayan kalıptan elde edilen değerlerin hemen hemen iki katı kadar olduğu görülmüştür. Bu durum kalıp yüzey pürüzlülüğünün sıvı metalin akıcılığını etkilemesi bakımından önemini göstermektedir [1].

Hazırlanan kalıpların dökümünden önce kalıp yüzeyleri (yolluk sistemi ve kalıp boşluğu) çeşitli amaçlarla sıvı metal ile kalıp temasının kesilmesi için kaplama işlemine tabi tutulmaktadır. Bu işleme kalıp yüzeyinin kaplanması yada boyanması denilmektedir. Kalıp yüzeyleri ve yolluk sistemi birçok biçimde ve malzeme ile kaplanabilmektedir. Kaplama işleminin en önemli yapılma amaçları arasında sıvı metal akıcılığının artırılması, kalıp-metal arasında oluşabilecek termal, kimyasal ve fiziki etkileşimlerin önlenmesi ve döküm parça yüzey kalitesinin iyileştirilmesi sayılabilir [6,52].

Bu konuda yapılan bir çalışmada [6], yaş kum kalıplarda kaplamanın akıcılık ve metal özelliklerine etkileri incelenmiştir. Çalışmanın sonucunda metal sıcaklığına, metal bileşimine ve yapılan yüzey işlemlerine bağlı olarak sıvı metal kaplamasız kalıpta 381 mm ilerleyebilirken, kaplama yapılan kalıpta ise 635 mm mesafeye kadar varabilmiştir (Şekil 4.2). Özellikle kaplama yapılması sonucunda akıcılığın arttığı ifade edilmektedir. Yine bu çalışmada

akıcılığı artıran en önemli faktörlerden birisinin döküm sıcaklığı olduğu bildirilmektedir. Ancak metal sıcaklığının artması ile akıcılık iyileşmesine karşın parça yüzey kalitesinin kötüleşmesi, gaz alma riskinin artması, kalıp ile temasta oluşacak problemlerin çoğalması, yapı ve özelliklerin kötüleşmesi gibi daha bir çok olumsuzlukların da meydana gelmesine sebep olmaktadır. Yerçekimine ters döküm yöntemi ile çok düşük sıcaklıklarda döküm işleminin yapılabilmesi sıcaklığa bağlı oluşan bu olumsuzlukların önlenmesinde önemli avantaj sağlamaktadır.



Şekil 4.2. Kalıp yüzeylerinin kaplanmasına ve döküm sıcaklığına bağlı olarak akıcılığın değişimi [6]

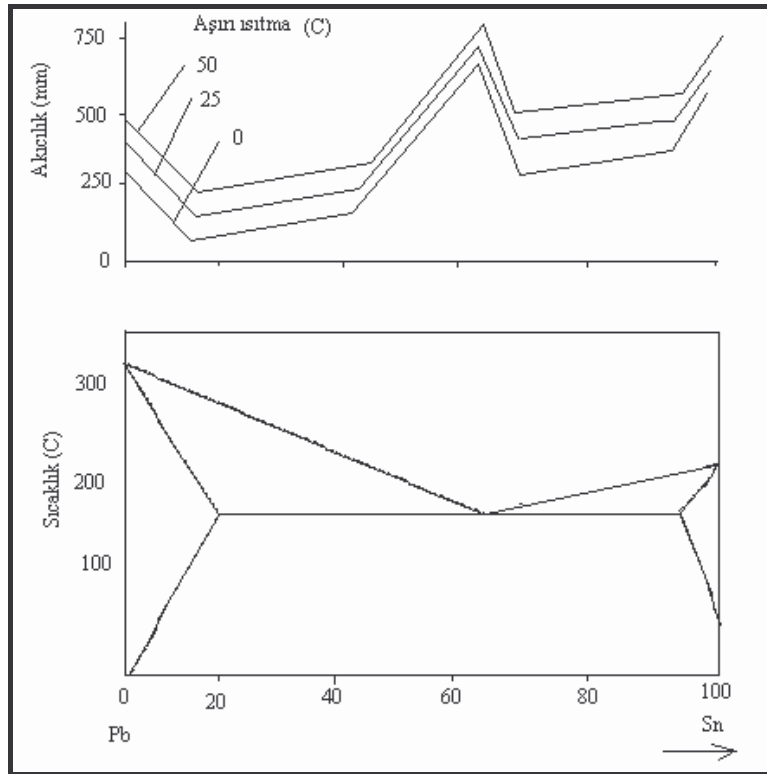
#### 4.1.2. Döküm parça şekli ve boyutları

Döküm parça şekli, sıvı metalin akışına engel olabilecek keskin köşeler, girinti ve çıkıntılardan meydana geliyorsa akıcılık azalacaktır. Aynı zamanda bu durum kalıp malzeme cinsine bağlı olarak döküm hatalarına da sebep olacaktır. Parça kesit kalınlığı arttıkça akıcılık artmaktadır. Çünkü ince kesitli parçalarda kesit kalınlığına oranla yüzey alanı artmakta ve böylece

katılaşmanın hızlanmasına ( $t_s=V/A$ ) sebep olmaktadır. Bunun sonucunda ise eksik döküm parça oluşumu gibi bazı döküm hataları meydana gelecektir. Bu durum çıkıcı kullanımı, kaplama yapılması, basınç ve vakum yardımı ile döküm yapılarak giderilebilmektedir [4-6,52].

#### 4.1.3. Sıvı metal bileşimi ve döküm sıcaklığı

Sıvı metal içerisinde ikinci ve üçüncü elementlerin varlığı akıcılığı olumsuz yönde etkilemektedir. Şekil 4.3'te ikili sistemde akıcılığın bileşim ve döküm sıcaklığına bağlı olarak değişiminin Pb-Sn alaşımları için örnek olarak gösterimi verilmiştir.



Şekil 4.3. Metal bileşimi ve döküm sıcaklığına bağlı olarak akıcılıktaki değişimin Pb-Sn alaşımı için gösterimi [52]

Bazen bronzlarda olduğu gibi ilaveler (fosfor ilavesi gibi) yapılarak akıcılık geliştirilmektedir. Ancak burada ifade edilmek istenilen kimyasal bileşimin etkisi ile katılaşma aralığının değişimi sonucunda akıcılığın nasıl değiştiğidir.

Katılaşma aralığı geniş malzemelerde akıcılık, döküm sırasında sıvı metalin ısı kaybetmeye başlaması sonucu katı parçacıklar oluşması ve bu katı parçacıkların metalin akışını zorlaştırmaları nedeniyle azalmaktadır. Katılaşma aralığı ne kadar azalırse döküm sırasındaki ısı kaybına bağlı olarak katılaşan metal miktarı o kadar az olacak ve sonuçta akıcılık azalmayacaktır. Sıvı metal sıcaklığı arttıkça katılaşma süresi ile birlikte akıcılıkta artacaktır [4,6,41,52].

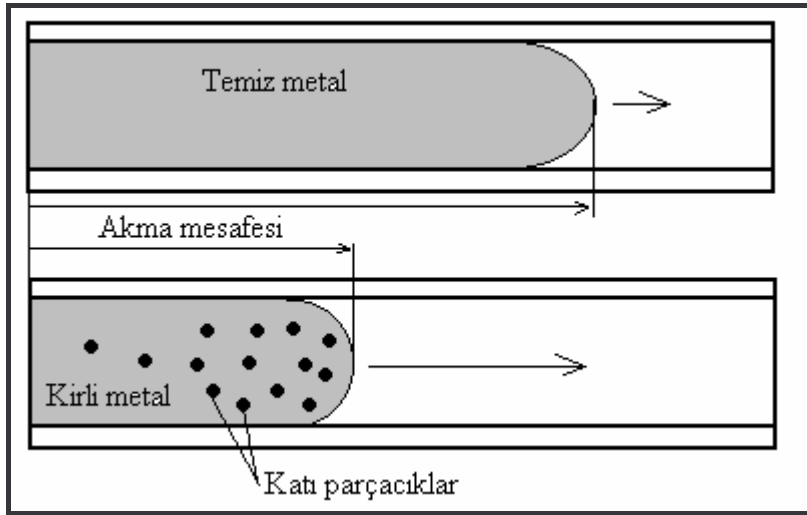
#### 4.1.4. Sıvı metal içerisindeki cüruf ve diğer kirlilikler

Sıvı metal ergitme ve döküm sırasında çevre ile etkileşime girer ve sıvı metal içerisine çevreden kirlilikler (kum, oksit kalıntıları v.s.) karışabilir. Ayrıca sıvı metal içerisinde daha önceden karışmış oksit ve kirlilikler de bulunabilir.

Al alaşımlarında da çok miktarda kirlilikler bulunabilir. Ayrıca bu alaşımlarda oksit filmlerinden meydana gelen kirliliklere de sıkça rastlanmaktadır. Bu oksit filmlerine  $\gamma$  - alümina denilmektedir. Bu oksit filmleri döküm sırasında kırılarak sıvı metal içerisine karışmakta ve elde edilen ürün özelliklerini olumsuz etkilemektedir [41,52]. Burada bahse konu olan oksit, cüruf ve diğer kirliliklerin metal akışı ve akıcılığa etkilerinin değerlendirilmesidir. Özellikle sıvı metal yüzeyinde oluşan oksitler sıvı metalin yolluk sistemi içerisinden geçerek kalıp boşluğunu doldurması sırasında metal akışının engellenmesine sebep olarak özellikle ince kesitlerin eksiksiz doldurulmasını engelleyici rol oynamaktadır. Cüruf ve kirlilikler sıvı metal içerisnde her hangi akışkan sıvı içerisndeki katı parçaların (su akan dere içerisndeki taşlar gibi) etkisine benzer etki yaparak metal akışının zorlaşmasına ve akıcılığın azalmasına neden olmaktadır (Şekil 4.4).

Vakum ile yerçekimine ters döküm yönteminde ergitme ünitesinde hazırlanan sıvı metal en kısa yoldan kalıp boşluğuna alçak basınç ile doldurulması nedeniyle sözü edilen olumsuzlukların en aza indirilmesi yada tamamen giderilmesini sağlamaktadır. Ayrıca yüzeyde oluşan oksit filminin bu yöntem

ile döküm sırasında çalkantı oluşmadan sakin bir şekilde kalıba sıvı metalin doldurulabilmesi neticesinde sıvı metal içerisine karışma riski azaltılabilmektedir [3,9,41,52].



Şekil 4.4. Temiz ve içeriside kirlilik bulunan sıvı metallerin akıcılıklarının değişiminin şematik olarak gösterilmesi [52]

#### 4.1.5. Döküm işlemi ve yolluk dizaynı

Döküm yoluyla parça üretimi sürecinde, yolluk dizaynı ve döküm işleminin yapılışı çok büyük önem taşımaktadır. Döküm işlemi sırasında sağlam ve hedeflenen özelliklere sahip parça üretimi için yolluk sisteminin dikkatli bir biçimde tasarlanması ve uygulaması çok büyük önem taşımaktadır.

Döküm işlemleri çeşitli biçimlerde yapılabilmektedir. Bunlar makine ve el ile döküm olarak genelleme yapılabilir. Bu genellemeler alt başlıklarla; pota ile, basınçlı (alçak ve yüksek basınçlı pres), gaz basıncı ile, vakum ile, sıkıştırma ve yarı-katı döküm gibi isimlerle ifade edilmektedir. Ancak hangi döküm yöntemi kullanılırsa kullanılsın yolluk sistemi tasarımı ve dizaynı döküm sırasında çok önemli yer teşkil etmektedir [10,41,52,56].

Yolluk sisteminin seçiminde en önemli noktaları; dökülecek malzeme cinsi, bileşimi ve sıcaklığı ile döküm parça şekil ve boyutları teşkil etmektedir. Diğer yandan; yolluk sisteminin yukarıda belirtilen noktalara uygunluğu ve basitliği (en az karmaşıklık ve yolluk sistemini oluşturan parça sayısının azlığı açısından) de önem arz etmektedir. Yolluk sistemleri genel olarak gidici (dikey yolluk), curufluk (yatay yolluk), memeler, çıkıcı ve besleyici gibi parçalardan meydana gelmektedir. Bir döküm işleminde çeşitli tip ve sayıda gidici, curufluk ve meme kullanımı çok yaygındır. Bu çok sayıda ve çeşitli tipteki yolluk sistemleri döküm hatalarının oluşumuna sebep olmakta ve bunun sonucunda hatalı döküm parça üretimi meydana gelebilmektedir [5,26,41,56].

Bir döküm parçanın tasarımında yolluk sisteminin ihtiyaca uygun ve mümkün olduğunca basit olması tercih edilir. Geleneksel döküm işlemlerinde çeşitli nedenlerle bunlar tam olarak sağlanamamaktadır. Buna karşın yerçekimine ters döküm işlemlerinde yolluk sistemi o kadar basit yada diğer bir ifadeyle yolluk sistemini oluşturan eleman sayısı çok azdır. Bu yöntem ile yapılan döküm işlemlerinde curufluğa ihtiyaç bulunmamaktadır. Çünkü sıvı metal ergitme ünitesi içerisinde metalin temiz kısmından emilerek kalıp içerisine doldurulduğundan curufluğa ve curuf tutma işlemine ihtiyaç yoktur. Bu durum aynı zamanda geleneksel dökümde curuf temizleme için ihtiyaç duyulan filtre kullanımı gibi ek önlemlerin kullanımının da önlenmesi anlamına gelmektedir. Çoğu zaman döküm parçaya doğrudan meme bağlanabilmesi gidici kullanımına da ihtiyacı önlemektedir (Kısım2.2, Resim 2.9, Resim 2.10 ve Şekil 2.7). Bu ise bir çok avantaj sağlayabilmektedir. Bunlar; yolluk sisteminin basitliği nedeniyle işlem kolaylığı, gereksiz metal sarfiyatında azalma ve yolluk sisteminden meydana gelebilecek hataların önlenmesi olarak sayılabilir [2,9,26].

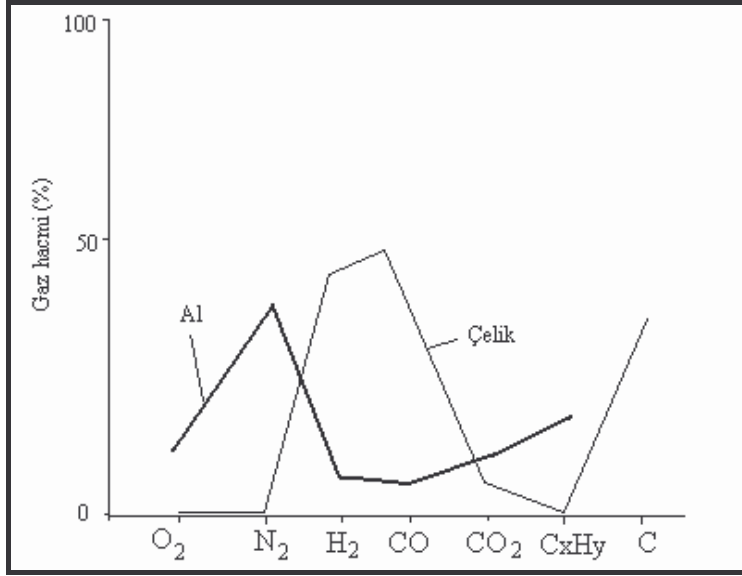
Basit yolluk sistemi; sıvı metalin en kolay ve kısa yoldan kalıbı doldurabilmesi anlamına geldiğinden, metal akışı ve akıcılıkla ilgili problemler en aza indirilebilmektedir.

#### 4.1.6. Sıvı metal içerisinde ergitme ve döküm işlemleri sırasında gaz oluşumu

Metal ve alaşımlarında, ergitilmeleri ve döküm işlemleri sırasında gaz oluşmakta, gaz oluşumu sonucu ise gözenekli parça üretimi ve sonuçta hatalı döküm parça üretimi meydana gelebilmektedir.

Metaller ergitilmeleri sırasında en çok katı halden sıvı hale geçtikleri, diğer bir ifadeyle ergidikleri sıcaklıklarda bünyelerine gaz almaktadırlar. Al ve alaşımlarında problem oluşturan gazların en önemlileri azot ve hidrojenidir. Al ergime sıcaklığında bünyesine yüksek oranda H<sub>2</sub> gazı alabilmekte ( $2Al + 3H_2O \rightarrow Al_2O_3 + 3H_2$ ) ve bu durum döküm hatası oluşumuna sebep olmaktadır. İlaveten, metal ve alaşımları döküm işlemi sırasında da ocaktan potaya, potadan da kalıba aktarılma sırasında ve kalıp içerisinde de gaz alabilmektedir [52,54].

Geleneksel döküm yöntemlerine kıyasla yerçekimine ters döküm işlemlerinde döküm potası kullanılmaması, yolluk sisteminin basitliği yada metalin en kısa yoldan kalıp boşluğunu doldurabilmesi döküm sırasında gaz hatası oluşum riskini en aza indirme açısından önemli bir avantaj sağlamaktadır. Ayrıca, yöntemin kontrollü atmosfer ortamında da yapılabilmesi, diğer bir avantajını oluşturmaktadır [2,5,9,10]. Şekil 4.5'te yaş kum kalıplara Al ve çelik malzemelerin dökülmesi sonucu meydana gelen gazlar ve miktarları gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Yaş kum kalıplara Al ve çelik malzemelerin dökümü sonucu meydana gelen gazların miktarları [52]

#### 4.1.7. Kalıbın ön ısıtılması

Bazı durumlarda döküm işlemlerinde çeşitli nedenlerle kalıplar ön ısıtma işlemlerine tabi tutulmaları gerekmektedir. Ön ısıtma işlemine gereksinim duyulmasının en önemli nedenlerinden birisi de; sıvı metal akıcılığının artırılmasına yardımcı olmaktır. Kalıbın ısıtılmasıyla; sıvı metalin yolluk sisteminden geçerek kalıp boşluğunu eksiksiz doldurması sırasında özellikle ince kesitli parçaların üretiminde metalin katılaşıp eksik yada sakat parça üretiminin önlenmektedir [52].

Yaş kum kalıplarda ise kalıbın ön ısıtılması zordur. Çünkü yaş kum kalıplarda su kullanılarak kum taneleri birbirlerine kil ile bağlanmaktadır. Kalıbın ısıtılması sırasında su buharlaşarak uçacaktır ve kilin bağlayıcılık özelliği bozulacaktır. Bunun sonucunda serbest kalan kumların neden olduğu kum sürüklenmesi, yüzey pürüzlülüğü, parça boyut değişimi gibi döküm hataları meydana gelecektir. Yerçekimine ters dökümde sıvı metal kalıp içerisine vakum ile sağlanan basınç yardımıyla doldurulduğundan daha kolayca döküm işlemleri yapılabilmektedir. Kalıbın akıcılık için ısıtılmasına ihtiyaç

bulunmamakta ve bahsi geçen döküm hatalarının oluşumu önlenmektedir [52].

#### **4.1.8. Sıvı metalin döküş biçimi ve etkileyen faktörler**

Döküm yöntemlerinin hemen bir çoğunda sıvı metal kalıp içerisine yerçekiminin etkisiyle doldurulmaktadır. Ancak, basınçlı döküm yöntemlerinde sıvı metal bir itici piston vasıtasıyla kalıba istenilen hız ve basınçta doldurulmaktadır. Diğer yandan vakum ile düşük basınç yardımıyla kalıbın doldurulduğu vakum ile yerçekimine ters döküm gibi yöntemler de bulunmaktadır.

Yerçekimi etkisiyle kalıba sıvı metalin döküldüğü sistemlerde pota içerisindeki metal kalıp içerisine doldurulmaktadır. Metal üzerine hiçbir yardımcı basınç uygulanmamaktadır. Ancak bu tür sistemlerde üst derece yüksekliğini artırmak, pota ile kalıp arasındaki mesafeyi artırarak daha yukarıdan metali dökmek yada yolluk sisteminin basınçlı veya basınçsız tipte tasarlanması suretiyle metal döküş hızı değiştirilebilmektedir. Ancak, bu tür uygulamalar döküm işlemleri ve üretilen döküm parça özellikleri üzerinde bir çok olumsuzluklara sebep oluşturmaktadır. Üst derece yüksekliği ve daha yüksekte sıvı metalin kalıba doldurulmasında en önemli problemlerden birisi çalkantılı akışın meydana gelmesidir. Çalkantılı akış sonucunda gaz gözeneksi oluşumu, kum kalıplarda yolluk sistemi içerisinde sıvı metalin kalıp malzemesini aşındırarak kalıp içerisine sürüklenmesi gibi nedenlerle hatalı döküm parça üretimi meydana gelmektedir [5,6,31,32,52,56].

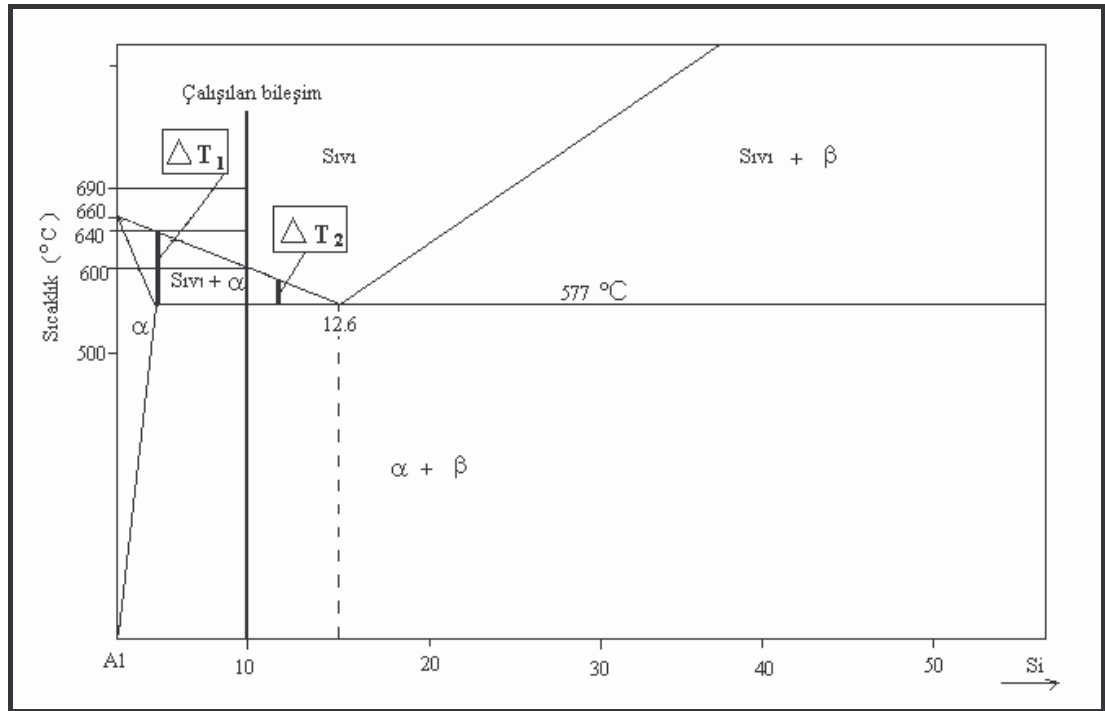
Vakum ile yerçekimine ters döküm yönteminde öncelikle yolluk sistemi çok basit yada en az parçadan oluşmakta ve sıvı metal uygulanan basınç ile kalıp içerisine sakin bir biçimde çalkantı oluşmadan doldurulabilmektedir.

## 4.2. Metal ve Alaşımların Katılaşma Özellikleri ve Bunların Sağlam Döküm Parça Üretimine Etkileri

Bu çalışmada amaç; besleme ihtiyacı ve besleme mekanizmaları ile bunları etkileyen faktörlerin tümünün incelenmesinin dışında, döküm sıcaklığı ve basıncın besleme ihtiyacı ve çekme oluşumuna etkileri konusundadır. Bu nedenle incelemeler bu konulara uygun olarak gerçekleştirilecektir.

### 4.2.1. Metal ve alaşımların katılaşma özellikleri

Metal ve alaşımları ısı verilmek suretiyle sıvı hale geçerler ve döküm işleminde kullanılırlar. Kalıba dökülen metal ısını çevresine (kalıba) vererek soğur ve katılaşır. Metalin katılaşma özelliği döküm işlemlerinde çok önem taşımaktadır. Geniş ve dar katılaşma aralığına sahip iki alaşımların katılaşma özellikleri ve elde edilen ürünler birbirlerinden oldukça farklıdır [52,57].



Şekil 4.6. Al-Si alaşımlarının denge diyagramı ve katılaşma özelliklerinin gösterimi

Aynı sıcaklık ve kalıp şartlarında dökülen iki alaşımın katılma aralığına bağlı olarak elde edilen özellikler değişmektedir. Şekil 4.6'da  $\Delta T_1$  geniş katılma aralığını gösterirken,  $\Delta T_2$  dar katılma aralığını göstermektedir. % 10 Si bileşimine sahip alaşım ile çalışmalar gerçekleştirildiğinden bu alaşımın katılma aralığı önem taşımaktadır. Diğer yandan, bu alaşım için mevcut çalışma için kullanılan döküm sıcaklıkları genellikle uygulanan sıcaklıklara göre oldukça düşük seviyededir. Özellikle 600 °C döküm sıcaklığı bu bileşim için katılma sıcaklığına çok yakındır. Bu sıcaklıkta döküm işleminin gerçekleştirilmesi oldukça güç, hatta imkansızdır. Ancak vakum ile yerçekimine ters döküm yönteminin avantajlarının gösterilebilmesi için bu sıcaklıkta çalışmak önem taşımaktadır.

### **4.3. Döküm Parçalarda Besleme İhtiyacı ve Sağlam Döküm Parça Üretimine Etkileri**

Besleme konusunda birçok çalışma [40,42,52,56-66] incelenmiştir. Ancak bu çalışmaların tümü yerçekimine ters döküm yöntemi alanının dışındaki konularda gerçekleştirilmiş çalışmalardır. Döküm yolu ile üretilen parçalar; çeşitli kalınlık, şekil ve boyutlarda olabilmekte, aynı döküm parçada hem ince, hem de kalın kesite sahip kısımlar bulunabilir. İnce kesite sahip parçalar hızlı katılmalarından dolayı katılma sonrasında çekme nedeniyle gözenek yada boşluk meydana getirmezler. Ancak genellikle 30 mm'den daha kalın kesite sahip parçalar kalın kesitli kabul edilmekte ve bu tip parçalar döküldükleri zaman çekme hatası meydana gelmektedir. Aynı sıcaklıkta dökülen ince ve kalın kesitli parçalar incelendiğinde kalın kesite sahip parçada çekme boşluklarının meydana geldiği görülmektedir [52,56].

Döküm sıcaklığındaki artışa bağlı olarak çekme miktarı da artmaktadır. Bunun iki sebebi bulunmaktadır. Birinci sebep olarak, artan döküm sıcaklığına bağlı olarak döküm parça katılırken kalıp içerisine verilmesi gereken ısı miktarı artmaktadır. Bu sebeple daha yavaş katılma sonucunda

döküm parçanın katılma süresi artmaktadır. Yavaş katılma sonucunda ise çekme artmaktadır [52,56].

İkinci olarak, sabit bir hacme girebilecek sıvı metal miktarı sıcaklıkta meydana gelen artışla birlikte azalmaktadır. Başka bir ifadeyle sıcaklıktaki artışa bağlı olarak sabit kütledeki bir malzemenin hacminde de artış meydana gelmektedir. Hacmi sıcaklıkla birlikte artan sıvı metal katılırken aynı oranda hacimce küçülecektir. Bu küçülme sırasında sabit hacme sahip kalıp boşluğundaki bazı kısımlar boş olarak kalacaktır. Artan döküm sıcaklığına bağlı olarak katılma sırasında boş kalacak hacim miktarı da artacaktır. Böylece yüksek döküm sıcaklıklarında yapılan döküm işlemleri sonucu boşluk yada çekme miktarı düşük sıcaklıklara oranla fazla olacaktır [52,56].

Sağlam döküm parça üretimi için; kalın kesitli döküm parçalarda meydana gelebilecek çekme boşluklarının önlenmesi gereklidir. Bu amaçla düşük döküm sıcaklıkları ile çalışma, besleyici ve/veya soğutucu kullanma, katılmanın yönlendirilmesi gibi teknikler uygulanmaktadır. Bu tekniklerle kalın kesitli parçaların dökümünde oluşacak çekme boşlukları önlenir. Besleyici kullanımının zorunlu olduğu durumlarda gerekli hesaplamalar yapılarak uygun besleyici hazırlanır ve kalıplama işlemlerinde uygulanır [52,56,61,62].

Döküm sonrası parçada meydana gelen çekme boşlukları besleyiciden bu kısımlara dolan sıvı metal ile önlenir. Ancak besleyici kullanımı konusunda bir çok sıkıntılar da bulunmaktadır. Bu nedenle döküm işlemlerinde besleyici kullanımı mümkün olduğunca azaltılmalıdır. Düşük döküm sıcaklığı ile çalışma, parça kesitinin ince tutulması gibi yollarla besleme ve dolayısıyla besleyici ihtiyacı azaltılabilir [52,56].

### 4.3.1. Metal ve alaşımların besleme özellikleri

#### Besleme gereksinimi ve genel karakteristikleri

Döküm işlemi sonucunda sıvı metal katılaşma sıcaklığına soğur ve katılaşmaya başlar. Katılaşma herhangi bir yüzeyden (genellikle kalıp yüzeyi) başlar ve parça iç kısımlarına doğru ilerler. Metal ve alaşımlar ısı verildiğinde hacimce genişlerler. Katılaşma sırasında ısı kaybeden metal ergitmenin tersine hacimce küçülmek zorundadır. Dolayısıyla bu hacimce küçülme sonucunda dökümlerde metal cinsi, döküm sıcaklığı ve parça kesit kalınlığı gibi faktörlere bağlı olarak çekme boşlukları yada gözenekleri oluşur. Meydana gelen boşluk veya gözenekler sıvı metal ile doldurulamadığında çekmeye bağlı döküm hatalarının oluşmasına sebep olurlar. Bu hatalara genel olarak çekme hataları denilmektedir [52,57].

Dökülen parçalarda çekme hataları meydana geliyorsa besleme ihtiyacının olduğu anlaşılır. Döküm sırasında bu tür hataların oluşmaması için gerekli boyut ve miktarda besleyici kullanılır. Besleyiciler katılaşma sırasında parçada hacimce küçülen kısımların doldurulması için sıvı metalin sağlandığı yolluk sisteminin bir parçası olarak kullanılır. Çünkü besleyiciler kalıp içerisinde en son katılaşacak ( $t_{\text{besleyici}} > t_{\text{döküm}}$ ) biçimde tasarlanır ve kullanılırlar.

Metal cinsine bağlı olarak besleme ihtiyacı ve karakteristiği değişim göstermektedir. Ötektikaltı Al-Si alaşımlarında Si miktarına bağlı olarak besleme ihtiyacı ve karakteristiği değişim göstermektedir. Ötektik bileşime yaklaştıkça besleme ihtiyacı azalır. Döküm malzemenin katılaşma aralığına bağlı olarak katılaşma ve besleme karakteristiği değişim gösterir. Katılaşma aralığı azaldıkça (ötektik ve çok yakın olan bileşimler) çekme olan bölgeler boşluklar şeklinde oluşurken, geniş katılaşma aralığına sahip bileşimlerde ise dağınık gözenekler şeklinde oluşur. Katılaşma aralığı, sıvı eğrisi ile katı çizgisi arasındaki fark ile ifade edilmektedir [56,57,58,63].

### Besleme ihtiyacının tespiti

Döküm parçalarda çeşitli metotlar kullanılarak besleme ihtiyacı teorik olarak hesaplanır ve tasarımlar bu sonuçlar doğrultusunda yapılır. Bu metotlardan en önemli ve yaygın olarak kullanılan Modül yöntemidir. Bu yöntemde göre öncelikle döküm parça hacmi ve yüzey alanı oranına bağlı olarak parça modülü hesaplanır. Elde edilen sonuçlar kullanılarak besleme ve besleyici ihtiyacı ile miktarı hesaplanır. Yolluk sistemi ve boyutları da hesaplanarak kalıplama işlemleri gerçekleştirilir [57].

Döküm parçanın katılma süresinin Chvorinov'a göre Eş. 4.2'deki gibi hacim ile yüzey alanının oranına bağlı olması nedeniyle sabit hacim şartlarında yüzey alanı arttıkça katılma süresi kısalmaktadır.

$$t = k * (V / A)^2 \text{ yada } t = k * (M)^2 \quad (4.2)$$

t: Katılma süresi (sn)

k: Kalıp ve metal cinsine bağlı sabit

V: Parça hacmi (cm<sup>3</sup>)

A: Parça yüzey alanı (cm<sup>2</sup>)

M: Modül

Benzer mantığa dayanan Modül yönteminde de Eş. 4.3. uygulandığında hacim sabit tutularak yüzey alanı artırıldığında modül küçüldüğünden besleme ve besleyici gereksinimi azalır. Dolayısıyla parça yüzey alanının artması katılma süresini kısaltmaktadır.

$$M = V / A \quad (4.3)$$

M: Modül (cm)

V: Parça hacmi (cm<sup>3</sup>)

A: Parça yüzey alanı (cm<sup>2</sup>)

Besleyicinin katılma süresi her zaman parçanın katılma süresinden fazla olmak zorundadır. Eğer tersi durum ( $t_{\text{döküm}} > t_{\text{besleyici}}$ ) mevcut ise besleyici döküm parçadan önce katılarak görevini yerine getiremez.

Basıncı döküm uygulamalarında ise basıncın etkisi ile besleme ihtiyacı azalmakta yada hiç beslemeye ihtiyaç duyulmamaktadır. Basıncı uygulaması ile birlikte katılma daha hızlı meydana gelmekte ve basıncın etkisiyle besleme ihtiyacı azalmaktadır [52,59].

Bu konuda yapılan bir çalışma [67] sonuçlarına bakıldığında; basıncı uygulamasına bağlı olarak katılma hızının arttığı görülmektedir. Bu çalışmada kullanılan basıncı değerleri 0, 0,5 ve 1 kg/cm<sup>2</sup> (0, 380 ve 760 mmHg) şeklindedir. Buradan çok düşük basıncı değerlerinin dahi besleme üzerinde önemli oranda etkiye sahip olduğu anlaşılmaktadır.

Yerçekimine ters döküm yöntemi de alçak basıncı döküm çeşitlerinde birisidir. Ancak buradaki basıncı yukarıda bahsedilen çalışmada olduğu gibi pozitif basıncı (itme) değildir. Vakum uygulaması sonucunda üretilen basıncı negatif (emme) şeklinde basıncıdır. Buna karşın etkileri anlamında benzerlikler olduğu düşünülmektedir. Bu çalışma sonucunda pres döküm sonuçlarına benzeyen sonuçların çıkması gerektiği düşünülmektedir. Yerçekimine ters döküm yönteminde bu konuda daha önceden benzer çalışmaların bulunmaması önemli bir eksiklik taşımaktadır. Mevcut çalışma sonucunda elde edilecek sonuçların önemli bir konuya açıklık getireceği düşünülmektedir.

## 5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

### 5.1. Döküm İşlemlerinde Kullanılan Kalıp Malzemeleri ve Hazırlanması

Deneysel çalışmalarda verilen bilgiler genellikle iki kısma ayrılmıştır. Bunlar; yerçekimine ters döküm yöntemi ve geleneksel döküm yönteminde kullanılan kalıp malzemeleri ve döküm kalıplarının hazırlanması şeklindedir. Buradaki amaç; aslında kalıp malzemelerinin aynı, ancak iki yöntemde kalıp hazırlama ve döküm biçimlerinin farklılığını tam olarak ifade edebilmektir.

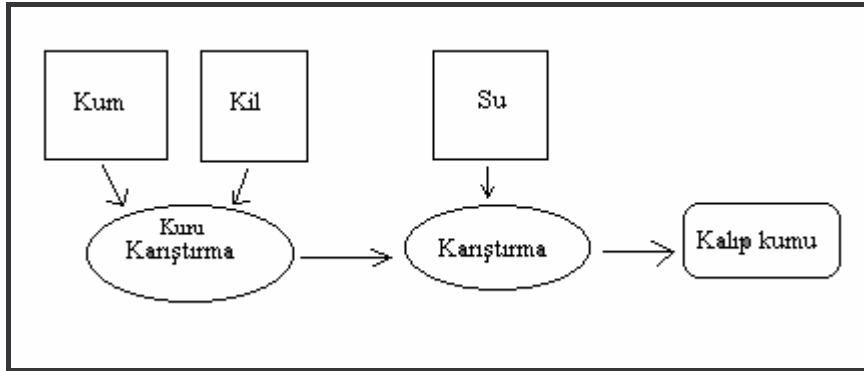
#### 5.1.1. Yaş kum kalıplama malzemesi ve hazırlanması

Genellikle dökümhanelerde çok yaygın bir şekilde kullanılan, Çizelge 5.1'de ilave oranları verilen silis kumu, kil ve nemden (su) meydana gelen yaş kum kalıp malzemeleri, deneylerde yapılan tüm kalıplama işlemlerinde kullanılmıştır.

Çizelge 5.1. Yaş kum kalıp kumu içeriklerinin ağırlıkça % oranları

Malzeme	Silis kumu	Su	Kil
Miktar (%)	88	6	6

Kalıp kumu hazırlığı, Şekil 5.1'de aşamaları gösterildiği biçimde karıştırma ünitesine (koller) önce kuru ilavelerin (silis kumu ve kil) karıştırılması ve daha sonra ise homojen olarak karıştırılan malzeme içerisine suyun ilave edilmesi şeklinde gerçekleştirilmiştir. Kullanılan silis kumu ortalama 100 AFS tane boyutuna sahiptir. Silis kumuna karıştırılan kil malzemesi kum tanelerinin birbirlerine bağlanmalarını sağlamaktadır. Ancak kilin bağlayıcılık özelliğini ise su ilavesiyle oluşturulmaktadır. Döküm işleminden sonra su ortamdan sıcaklık etkisiyle uzaklaştığında kilin bağlayıcılık özelliği kaybolmaktadır.

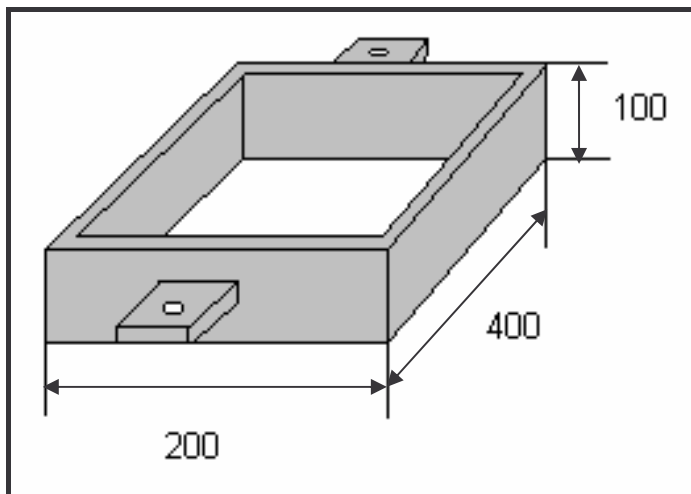


Şekil 5.1. Yaş kum kalıp kumunun hazırlama aşamaları

## 5.2. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Dereceler

### 5.2.1. Geleneksel döküm yönteminde kullanılan dereceler

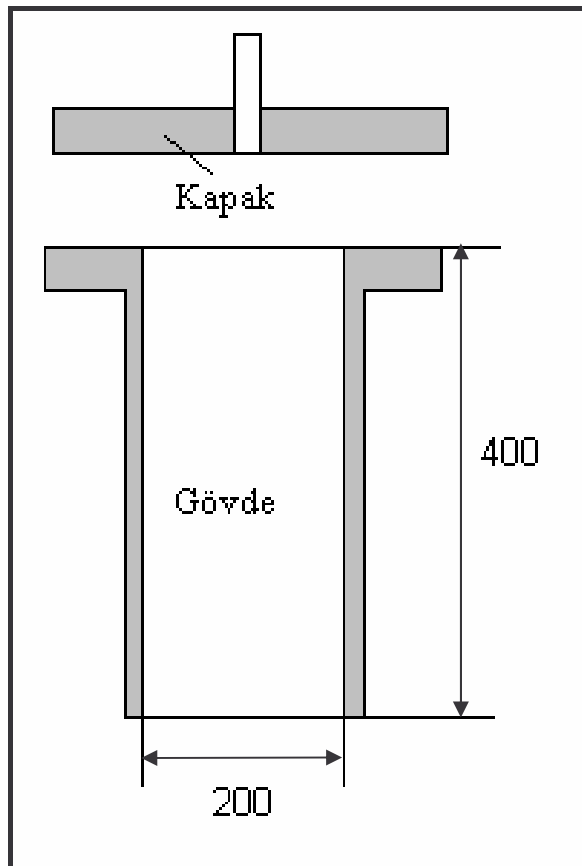
Deneylerde Şekil 5.2'de verilen dikdörtgen şeklinde ve 400x200x100 mm boyutlarındaki çelik sacdan üretilen döküm kalıplama dereceleri kullanılmıştır. Derecenin her iki yan kısmında pim delikleri bulunmaktadır. Bu delikler vasıtasıyla alt ve üst dereceler birbirlerine takılan pimler sayesinde bağlanmaktadır. İçerisine kum kalıp yapılan derece, döküm sonrası içerisindeki kum boşaltılarak yeniden kullanılabilir.



Şekil 5.2. Geleneksel döküm işlemlerinde kullanılan derecenin şematik gösterimi

### 5.2.2. Yerçekimine ters döküm yönteminde kullanılan dereceler

Yerçekimine ters döküm deneylerinde Şekil 5.3'de şematik olarak verilmekte olan boru tipi dereceler kullanılmıştır. Dereceler çelik malzemelerden imal edilmiştir. Derecelerin üst kısımlarına vakum işlemi için kapak hazırlanmış ve bu kapağa bağlanan bir boru yardımıyla vakum işlemi uygulanmaktadır. Derece kapakları Al malzemeden dökülerek ve ardından dökülen bu parçaların torna tezgahında talaşlı imalat yolu ile üretilmiştir. Derece gövdesi üzerindeki bağlama diski ile kapak birbirlerine vidalı birleştirme ile bağlanmıştır. Hazırlanan derecenin iç kalıp boşluk ölçüleri  $\varnothing$  200x400 mm'dir.

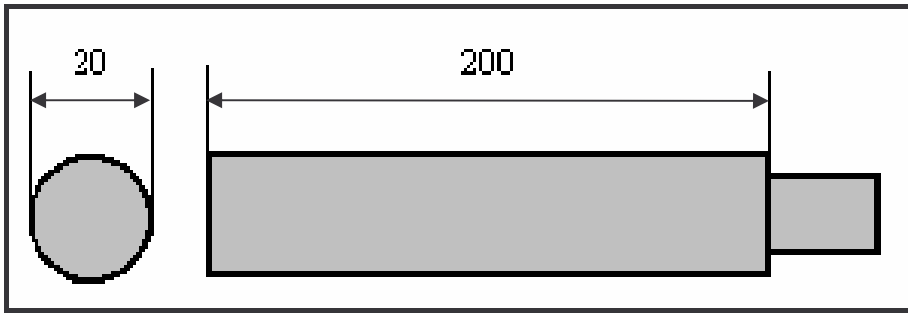


Şekil 5.3. Vakum yardımı ile yerçekimine ters döküm işlemlerinde kullanılan derecenin şematik gösterimi

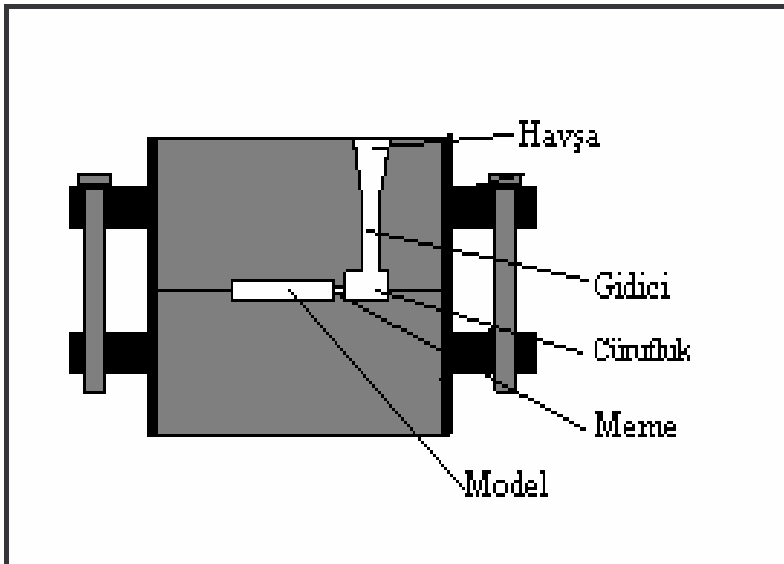
### 5.3. Yaş Kum Döküm Kalıplarının Hazırlanmaları

#### 5.3.1. Geleneksel döküm yöntemi için kalıpların hazırlanması

Şekil 5.4'de verilen çubuk şeklindeki model ve Şekil 5.2'de verilen dereceler kullanılarak yaş kum kalıplar hazırlanmıştır. Her bir kalıp içerisinde 4 adet modelin kalıplama işlemi yapılmıştır.



Şekil 5.4. Mekanik özellikler ve mikroyapı tespitlerinde kullanılmak üzere üretilen döküm çubukların kalıplama işlemlerinde kullanılan modelin şematik gösterimi

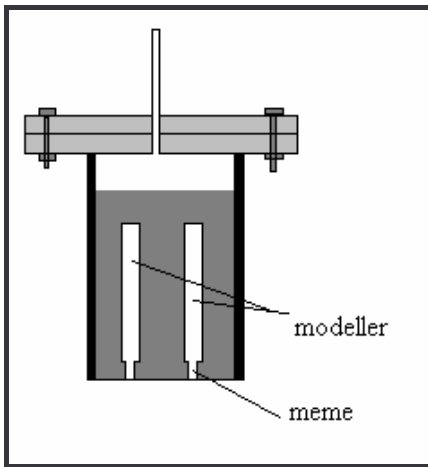


Şekil 5.5. Geleneksel yaş kum kalıba döküm işlemleri için hazırlanan kalıbın şematik gösterimi

Yaş kum kalıplar el ile sıkıştırılarak hazırlanmıştır. Kalıplama işlemlerinde alt ve üst olmak üzere iki adet derece kullanılmıştır. Modellerin kalıp içerisindeki durumları Şekil 5.5'de gösterildiği biçimde kalıp içerisine dikey yönde yerleştirilmiştir. Kalıplama işlemlerinde kullanılan modeller Alüminyum'dan üretilmiştir. Alt ve üst dereceleri hazırlanan kalıp yarımları Şekil 5.5'de gösterildiği biçimde üst üste pimler kullanılarak yerleştirilmiş ve döküme hazır hale getirilmiştir. Ergitilen metal; döküm potası kullanılarak havşa, dikey yolluk, cürüflük ve memelerden oluşan yolluk sistemi yardımıyla döküm işlemleri gerçekleştirilmiştir.

### 5.3.2. Yerçekimine ters döküm yöntemi için kalıpların hazırlanması

Şekil 5.3'de verilen derece ve Şekil 5.4'deki modeller kullanılarak önceden hazırlanmış yaş kalıp kumu ile kalıplar hazırlanmıştır. Kalıplama işlemleri el ile kalıplama yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan kalıp içerisine geleneksel yöntemde olduğu şekilde 4 adet model yerleştirilerek kalıplama yapılmıştır. Kalıplama işlemleri sonucunda Şekil 5.6'da şematik olarak gösterilen yaş kum döküm kalıpları elde edilmiştir. Modeller kalıp içerisine meme kısımları alta gelecek biçimde yerleştirilmiştir. Modellerin kalıp içerisindeki konumları dikey yöndedir.



Şekil 5.6. Yerçekimine ters yönde yaş kum kalıba döküm işlemlerinin yapıldığı kalıbın şematik gösterimi

Kalıplama işleminin ardından derecenin üst kısmındaki kapak gövdeye monte edilerek vakum ile döküm işlemine hazırlanmıştır. Derece gövdesi ile kapak arasına dışarıdan hava girişinin önlenmesi amacıyla yalıtım işlemi yapılmıştır.

#### 5.4. Ergitme İşlemleri ve Döküm Sırasında Kullanılan Araç, Gereç ve Malzemeler

##### 5.4.1. Deneysel çalışmada kullanılan döküm alaşımı

Mekanik özellikler, mikroyapı, dökülebilirlik, besleme ihtiyacının tespiti amacıyla yapılan tüm döküm işlemlerinde ETİAL-171 (Al- % 10 Si) alaşımı kullanılmıştır. Bu malzemenin kimyasal bileşimi Çizelge 5.2'de verilmiştir. Deneysel çalışmada kullanılan bu malzeme döküm üretim işlemlerinde yaygın kullanıma sahip olması nedeniyle tercih edilmiştir.

Çizelge 5.2. Döküm işlemlerinde kullanılan ETİAL-171 malzemesi kimyasal bileşimi (% ağırlık oranı)

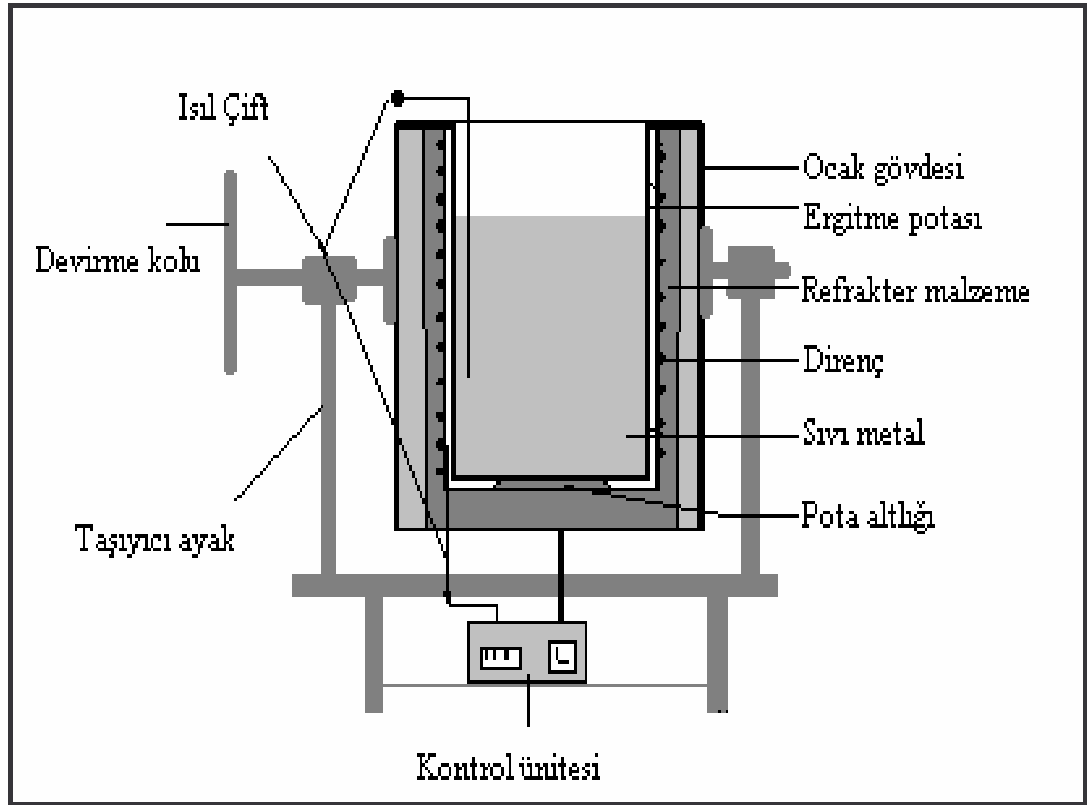
Element	% Si	% Fe	% Cu	% Mn	% Mg	% Cr	% Ni	% Zn	% Ti	% Pb	% Al
% Miktar	9,42	0,38	0,05	0,431	0,36	0,015	0,04	0,06	0,10	0,011	89,14

Alaşım ötektik altı Al-Si alaşımıdır. Katılma şekli tek noktadan olmayıp, geniş bir katılma aralığında meydana gelmektedir. Düşük dayanım, uzama, akıcılık özelliklerinin yanında yüksek oranda besleme ihtiyacı gösteren bir alaşım özelliği taşımaktadır. Kullanım alanının çok fazla olması tercih edilmesini sağlamaktadır.

##### 5.4.2. Metal ergitme ünitesi

Döküm işlemlerinde kullanılan sıvı metalin üretimi için Şekil 5.7'de verilmekte olan 5,575 W gücündeki, 30 kg Al metal kapasitesine sahip direnç ocağı üretilmiş ve deneysel çalışmaların gerçekleştirilmesinde kullanılmıştır.

Ergitme ünitesi içerisinde bulunan pota, Al ergitme işlemlerine uygunluk bakımından grafit bağlayıcılı SiC malzemedan olması tercih edilmiştir. Ergitme sırasında sıcaklık kontrolleri; fırının kontrolü için direnç üzerinden, ergiyen metalin sıcaklığının kontrolü ise, pota içerisine yerleştirilen mineral izoleli “K” tipi özel olarak hazırlanan ısı çiftleri ile gerçekleştirilmiştir.



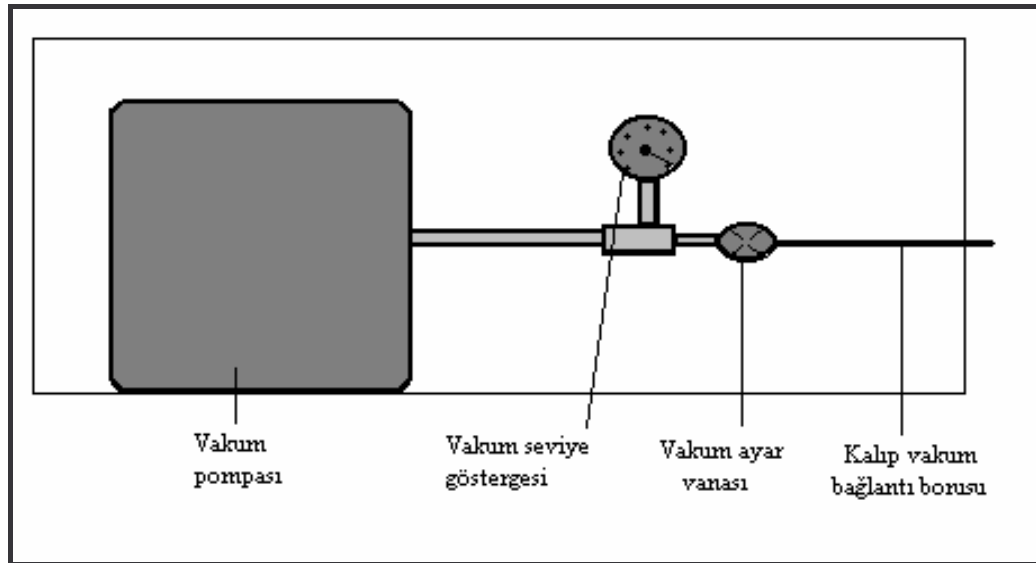
Şekil 5.7. Metal ergitme işlemlerinde kullanılmak amacıyla hazırlanan direnç ergitme ocağının şematik gösterimi

Ergitme ünitesi hazırlanan kalıplar ile çalışmaya uygun boyutlarda tasarlanarak üretilmiştir. Yerçekimine ters döküm kalıpları pota içerisine daldırılmak suretiyle döküm işlemleri yapılabildiğinden ergitme ünitesinin kullanılan derece boyutlarına uygun olması gerekmektedir. Bu amaçlara uygun şekilde ergitme ünitesi hazırlanmıştır. Ergitme ünitesi gerektiğinde içerisindeki sıvı metalin rahatlıkla boşaltılabilmesi amacıyla ön ve arkaya devrilebilir şekilde tasarlanmıştır. Ocak gövdesi her iki yanından orta kısımlarından taşıyıcı ayaklar üzerine yerleştirilerek devrilme sağlanabilmiştir.

Bu şekilde döküm yaparken pota içerisine sıvı metalin doldurulması ve döküm işlemleri bitiminde ocak içerisinde kalan fazla metalin boşaltılabilmesi kolay hale getirilmiştir.

#### 5.4.3. Kullanılan vakum düzeneği

Yerçekimine ters döküm işlemleri için Şekil 5.8'de verilmiş olan vakum ile emme sağlayan bir düzenek hazırlanmıştır. Bu düzenekte; bir adet 220 V, 200 mm<sup>3</sup> / dakika hava emme sağlayabilen vakum motoru, vakum sisteminin açma, kapama ve vakum basınç ayarlarının yapılabilceği bir kontrol valf sistemi ile bu düzenek yardımıyla elde edilen vakum basıncını gösteren bir gösterge bulunmaktadır. Bu düzenek aynı zamanda gaz ile alçak basınçlı dökümde basma sistemi olarak da kullanılabilirdiğinden çift amaçlı bir düzenektir. Döküm işlemleri sırasında, istenilen vakum miktarı el ile kumanda edilen ayar valfi yardımıyla sağlanmakta ve elde edilen vakum miktarı seviye göstergesinden takip edilebilmektedir. Sistem 760 mmHg'ya kadar vakum basıncı üretebilmekte ve istenilen basınç seviyesinde sabitlenerek çalışma imkanı sağlamaktadır.



Şekil 5.8. Vakum ile sıvı metali kalıba emme yapılabilen düzeneğin şematik olarak gösterimi

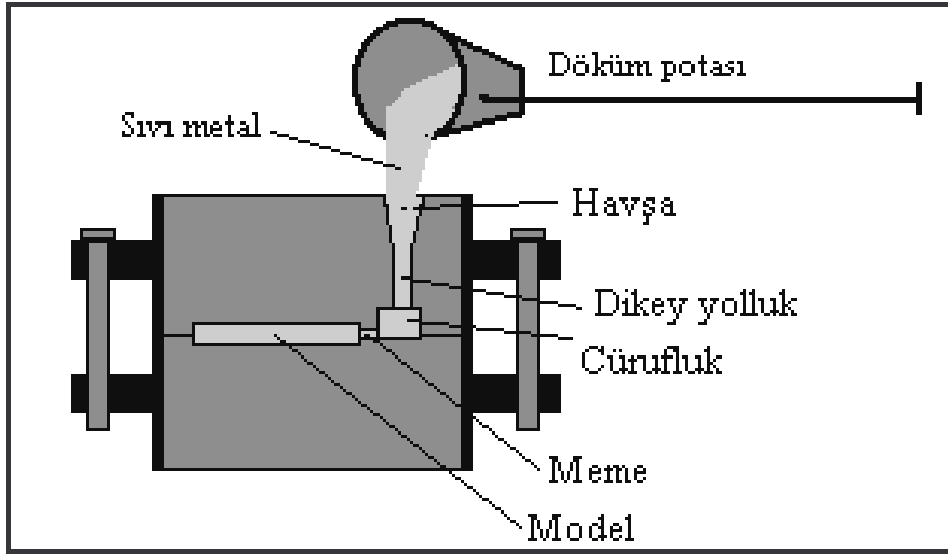
Bu düzeneğin çalışma prensibi aşağıdaki gibidir. Kalıba vakum bağlantı borusu ile bağlanan düzenek kalıp sıvı metal içerisine daldırıldıktan sonra çalıştırılmaktadır. Bu sırada vakum seviye göstergesinden basınç miktarı takip edilmektedir. Basınç istenilen seviyeye ulaştığında vakum ayar vanası yardımıyla basınç sabit hale getirilir ve bu şekilde sabit basınç altında döküm işlemi gerçekleştirilir. Böylece döküm sırasında ilaveten elemana ihtiyaç bulunmamaktadır. Kalıbın tamamen sıvı metalle doldurulması ve katılaşmanın tamamlanmasının ardından kalıbın ocaktan dışarıya çıkarılması ile döküm işlemi sona erdirilir.

## **5.5. Döküm İşlemleri**

### **5.5.1. Geleneksel döküm işlemlerinin uygulanması ve üretilen parçaların döküm kalıplarından çıkarılması**

Geleneksel döküm yöntemlerinde döküm işlemleri; hazırlanan döküm kalıplarının içerisine ergitilen metalin belirlenen döküm sıcaklığında yerçekimi yardımıyla kalıbın içerisinde oluşturulan yolluk sistemi yardımı ile doldurulması şeklinde gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.9'da geleneksel döküm yönteminde döküm işleminin yapılışı şematik olarak gösterilmiştir. Ergitme ocağından alınan sıvı metal bir pota yardımıyla kalıbın üst derecesinde bulunan ve yolluk sisteminin bir parçası olan havşadan dökülerek kalıp içerisine doldurulmaktadır. Bu yöntemde sıvı metal kalıba yer çekiminin yardımı ile dolmaktadır.

Dökümden sonra oda sıcaklığına soğuyan kalıplar el ile bozularak döküm parçalar kalıptan çıkarılmıştır. Kalıptan çıkarılan döküm parçaların yolluk kısımları testere ile kesilerek ayrılmıştır.



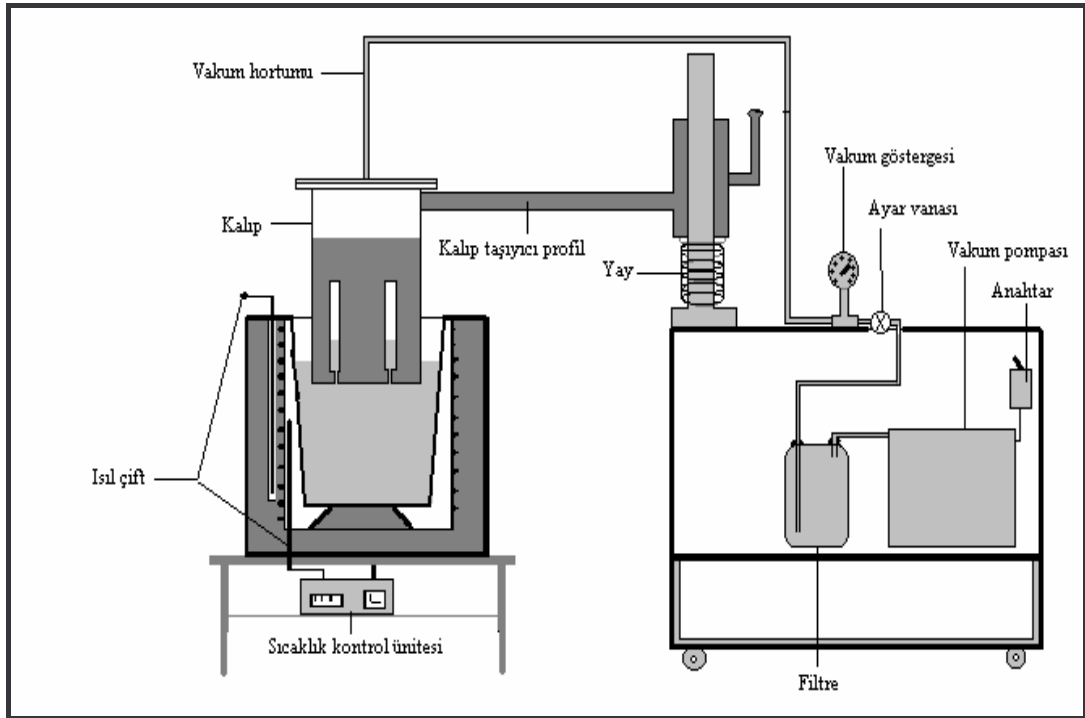
Şekil 5.9. Geleneksel yaş kum kalıba döküm işleminin yapıışının şematik olarak gösterimi

### 5.5.2. Yerçekimine ters döküm işlemlerinin uygulanması ve üretilen parçaların döküm kalıplarından çıkarılması

Bölüm 5.4.3'de ifade edilen sisteme hazırlanmış olan döküm kalıbı Şekil 5.10'da gösterildiği biçimde bağlanarak vakum ile yerçekimine ters döküm işlemleri gerçekleştirilmiştir. Kalıbın ergitme ocağına daldırılması ve döküm işleminin yapılabilmesi için kalıbın üzerine bağlandığı ve el ile kontrol edilen bir aparat üzerinde vakum ünitesinin de bulunduğu bir düzenek hazırlanmıştır. Bu aparat yardımı ile kalıplar ergitme ünitesi içersine daldırılmak suretiyle döküm işlemleri yapılmıştır.

Yerçekimine ters yöntemde döküm işlemleri aşağıdaki sırayla gerçekleştirilmektedir. Hazırlanan kalıp, kalıp taşıyıcı aparat üzerindeki yerine yerleştirilir ve vakum bağlantı borusu kalıba bağlanır. Ardından kalıp taşıyıcı aparat aşağı yukarı hareket sağlayabilen bir kol yardımıyla sıvı metal içersine daldırılır. Vakum ünitesi çalıştırılarak sıvı metal kalıp içersine doldurulur. Bu sırada vakum seviyesi ayarlanır ve daha önceden katılma süresi belirlenen döküm parçanın dolması ve katılması beklenir. Katılmanın ardından vakum sona erdirilir ve kalıp sıvı metal içersinden

ıkarılır ve aparat üzerinden indirilir. Devamında yapılacak dökümler öncesinde hem sıvı metal miktarı hem de sıcaklığı kontrol edilerek diğer kalıpların döküm işlemlerine devam edilir. Dökülen kalıplar soğumanın ardından el ile bozularak döküm parçalar çıkarılır ve meme kısımları kesilerek ayrılır. Bu işlemler tekrarlanarak yerçekimine ters döküm işlemlerine devam edilir.



Şekil 5.10. Vakum ile yerçekimine ters yaş kum kalıba döküm işleminin yapılışı ve bu amaçla hazırlanmış olan döküm düzeneğinin Şematik olarak gösterilmesi

## 5.6. Üretilen Parçaların zelliklerinin Tespit Edilmesi

Bu alışma sonucunda üretilen numuneler;

1. Mekanik zellikler,
2. Mikro ve makroyapı zellikleri,
3. Dökülebilirlik (akıcılık) zellikleri,
4. Besleme ihtiyaı tespiti,

5. Termal özellikler
6. Yoğunluk ve gözenek miktarındaki değişimler açısından tespitler yapılmıştır.

### **5.6.1. Mekanik özelliklerin belirlenmesi**

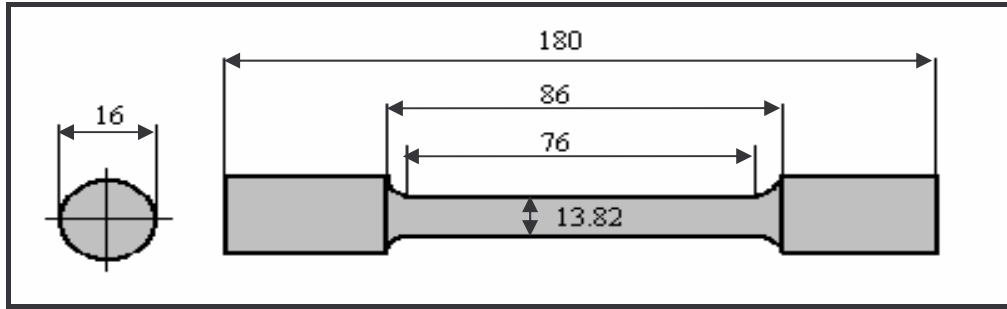
Üretilen numunelerin mekanik özellikleri çekme testi ile çekme dayanımı, % uzama, % kesit daralması, sertlik testi ile sertlik özellikleri belirlenmeye çalışılmıştır.

#### Çekme testi

Üretilen döküm çubuktan çekme, akma, % uzama ve kesit daralmasının tespit edilmesi için Şekil 5.11'de verilmiş olan TSE standardına (TS-138) uygun çekme testi numunesi hazırlanarak işlemler yapılmıştır. Numuneler döküm işleminin ardından metal işleme için kullanılan torna tezgahında talaş kaldırma işlemleri sonucunda imal edilmiştir. Yapılan testlerde dört test neticesinin ortalaması alınmıştır.

Tüm sıcaklık ve vakum değerlerinde özelliklerin tespitinde kullanılan döküm çubukların üretimi başarı ile gerçekleştirilmiştir. Ancak 600 °C sıcaklıkta geleneksel yöntemle üretilen çubukların boyları çok kısa olarak üretilebilmiştir. Bunun sonucunda, dökülen çubuklar kullanılarak mekanik özelliklerin tespit edilmesi mümkün olmamıştır. Fakat bu çubuklar ile mikroyapı, sertlik ve yoğunluk gibi incelemeler gerçekleştirilebilmiştir.

Çekme testleri Dartec 1200 tipi bilgisayar kontrollü numune test cihazında gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan test çubukları uygun şartlar altında teste tabi tutularak özellikleri tespit edilmiştir. Ancak yapılan çekme testleri sırasında döküm malzemesinin dayanımının düşük ve çok kırılman olması sebebiyle akma dayanımları ve elastik modülleri tespit edilememiştir.



Şekil 5.11. TSE 138 standardına uygun olarak hazırlanmış olan çekme dayanımı, % uzama ve % kesit daralmalarının tespitinde kullanılan çekme testi numunesi

### Sertlik testi

Sertlik ölçümleri dökümden sonra hazırlanmış numuneler üzerinden Instron Wolpert marka sertlik ölçüm cihazı ile Vickers cinsinden ölçümler yapılarak malzemelerin sertlik değerleri tespit edilmiştir. Sertlik ölçümlerinin yapıldığı yüzeyler 1200 nolu zımpara ile zımparalama işlemine tabi tutulmuştur. Her bir numune için yüzeyden başlayarak numune merkezine doğru olarak toplam 20 adet ölçüm yapılmıştır. Bu ölçümlerin ortalamaları sonuç değer olarak belirlenmiştir.

### **5.6.2. Mikro ve makroyapı incelemeleri**

Geleneksel ve vakum ile yerçekimine ters yaş kum kalıba döküm yöntemleri ile üretilen numunelerin nicel incelemeleri iki şekilde yapılmıştır. Bunlar makro ve mikroyapı incelemeleri şeklindedir. Makroyapı incelemeleri için  $\varnothing$  50X70 boyutlarında üretilen numune boyuna yönde ortasından testere ile kesilmiş ve ardından standart metalografik hazırlama işlemlerine tabi tutulmuştur.

Yüzeyi parlatılan numune makroyapısının incelenebilmesi için 15 ml HF, 45 ml HCl, 15 ml HNO<sub>3</sub> ve 25 ml H<sub>2</sub>O bileşiminden meydana gelen Tucker dağlayıcısı ile kaba dağlama işlemine tabi tutulmuştur. Ancak ETİAL-171

alaşımına yapılan çok değişik kaba dağlama işlemleri sonucunda makroyapı görüntüsü elde edilememiştir. Bu nedenle 650 °C sıcaklıkta ve 100, 250 ve 500 mmHg basınç şartları altında saf Al (ETİAL-3) malzeme ile üretilen numuneler üzerinde Tucker kaba dağlama ayırıcı kullanılarak makroyapı incelemeleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar neticesinde makroyapı ile ilgili değerlendirmeler yapılmıştır. Hazırlanan numune yüzeyi tarayıcı (scanner) yardımı ile elde edilen makroyapıların görüntüleri bilgisayara aktarılmıştır. Elde edilen görüntüler üzerinde tanelerin hem boyuna hemde enine ölçüm ile AFS (American Foundry Society) tane boyutu ölçüm metodu kullanılarak makroyapı sonuçları elde edilmiştir.

Mikroyapı incelemeleri için alınan numuneler, önce polyester içerisine soğuk gömme işlemi yapılmıştır. Ardından sırasıyla 200, 400, 600, 800 ve 1200 nolu zımparalar ile zımparalandıktan sonra parlatma işlemine tabi tutulmuştur. Yüzeyleri hazırlanan numuneler 0,5 ml HF ve 99,5 ml saf sudan meydana gelen dağlayıcının pamuk ile numune yüzeyine 15 saniye sürülmesi ile ince dağlama işlemine tabi tutulmuş ve elde edilen mikroyapıların incelemeleri gerçekleştirilmiştir. Bunun yerine fazlar arası mesafelerin ölçülmesi yoluna gidilmiştir. Si fazları arası mesafe ölçümlerinde standart Çizgisel Kesişme Metodu kullanılmıştır. Ölçümler mikroskop monitörü üzerinde her bir numune için 20 adet yapılmıştır.

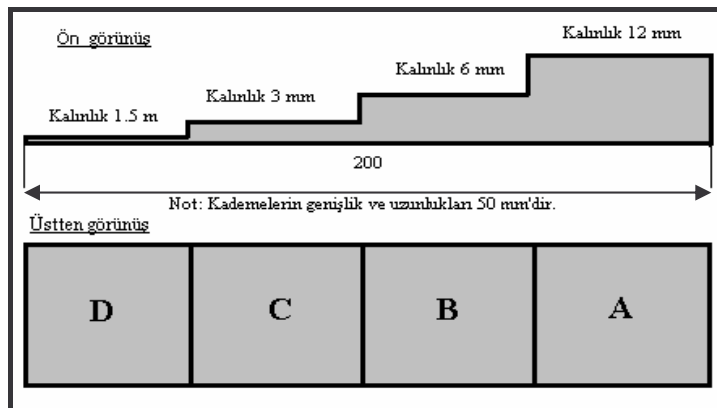
Mikroyapı incelemeleri, bilgisayara görüntü aktarma sistemine sahip olan Prior marka optik mikroskop ile elde edilen görüntüler üzerinden gerçekleştirilmiştir. Çizgisel kesişme metodu kullanılarak numuneler üzerinde Si fazları arası mesafelerin ölçülmesi ile faz boyut ve dağılımının değişimi hakkında sonuçlar elde edilmiştir.

### **5.6.3. Dökülebilirlik incelemeleri**

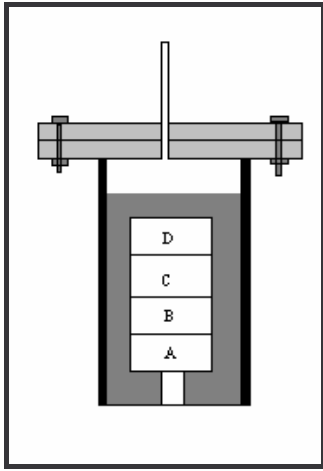
Akıcılık; standart akıcılık spiral modeli kullanılarak hazırlanmış kalıp içerisinde sıvı metalin ulaşabildiği mesafedir. Diğer yandan sıvı metalin

bileşimi, döküm sıcaklığı, katılaşma şekli, döküm yapılan kalıp cinsi ve özellikleri, uygulanan döküm metodu gibi faktörlere bağlı olarak sıvı metalin kalıbı doldurması sırasında sergilediği akıcılığa dökülebilirlik denilmektedir [6,52]. Bu çalışmada dökülebilirlik ifadesi bu amaçla kullanılmaktadır.

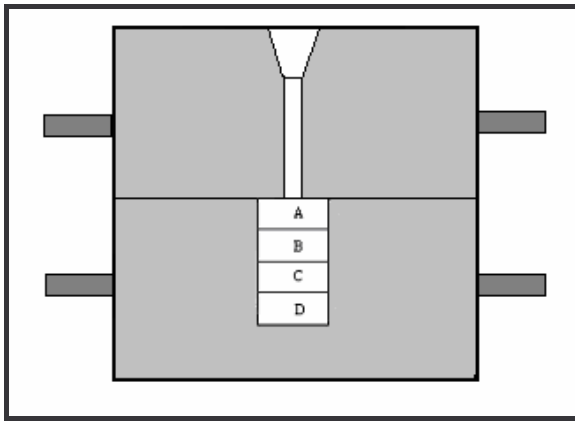
Dökülebilirlik incelemeleri 600, 640 ve 690°C sıcaklık, 100, 250 ve 500 mmHg vakum şartları altında yapılmıştır. Geleneksel döküm yöntemlerinde ise yine aynı sıcaklıklarda ancak yerçekimi yardımıyla Şekil 5.12'de verilen basamaklı yada farklı kesit kalınlıklarına sahip parçanın dökümü ile gerçekleştirilmiştir. Basamaklı dökülebilirlik modeli metalik malzemeden üretilmiştir. Basamaklı model 12 mm'den (A basamağı) başlayarak 1.5 mm'ye (D basamağı) kadar kalınlık azalacak biçimde A, B, C ve D olmak üzere 4 basamaktan oluşmaktadır. Basamaklı dökülebilirlik numunelerinin döküm işlemi yerçekimine ters döküm yönteminde Şekil 5.13'de görüldüğü biçimde en kalın kesitten başlanarak en ince kesite doğru sıvı metalin doldurulması şeklinde gerçekleştirilmiştir. Geleneksel döküm yönteminde ise Şekil 5.14'de olduğu biçimde yolluk bağlantısı en kalın kesitten verilerek yerçekimine ters yönteminde yapıldığı biçimde dikey yönde döküm işlemleri yapılmıştır. Her iki yöntemde de kalıp yüzeyleri kaplama ve boyama gibi yüzey işlemlerine tabi tutulmamıştır. Üretilen numuneler üzerinde sıvı metalin ulaşabildiği mesafeler değerlendirilmeye çalışılmıştır.



Şekil 5.12. Dökülebilirlik deneylerinde kullanılan basamaklı modelin şematik gösterimi



Şekil 5.13. Yerçekimine ters döküm yönteminde dökülebilirlik deneyleri için oluşturulan kalıp tasarımı



Şekil 5.14. Geleneksel döküm yönteminde dökülebilirlik deneyleri için oluşturulan kalıp tasarımı

#### 5.6.4. Yoğunluk incelemeleri

Dökülen parçaların yoğunluk incelemeleri için benzer boyutlarda numuneler hazırlanmış ve bu numuneler kullanılarak nispi yoğunluklar ölçülmüştür. Bütün dökümlerin aynı bölgelerinden alınmış numunelerin Arshimedes prensibiyle önce havada ve Şekil 5.15'te gösterildiği biçimde daha sonra saf su içerisinde bir misina yardımıyla asılarak 0.1 mg hassasiyete sahip hassas terazi kullanılarak ölçülmüş ve Eş. 5.1 yardımıyla hesaplamalar gerçekleştirilmiştir.

$$g = A / A - B \quad (5.1)$$

g: Yoğunluk ( $g/cm^3$ )

A: Havadaki ağırlık ( $g/cm^3$ )

B: Sudaki ağırlık ( $g/cm^3$ )

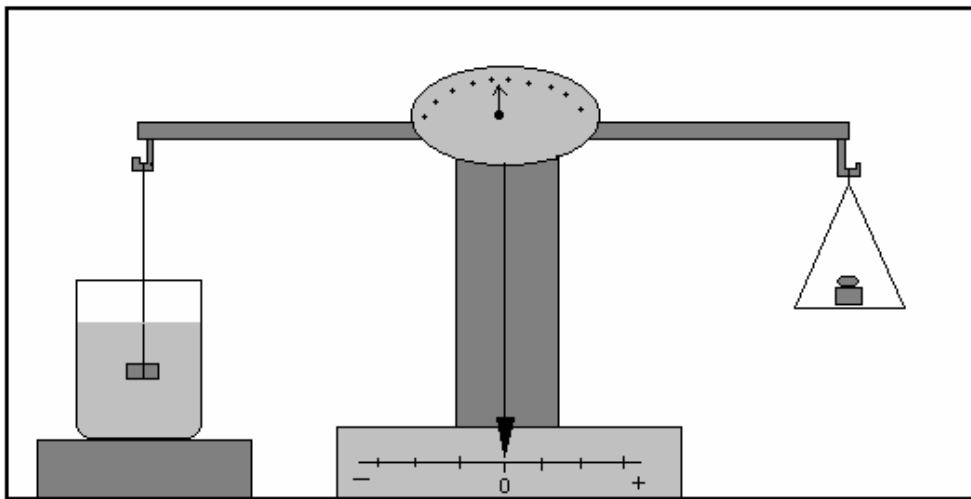
Numunelerden elde edilen yoğunluk ölçüm sonuçları önceden hesaplanmış olan teorik yoğunluklar ile birlikte aşağıda verilmekte olan Eş. 5.2 kullanılarak gözenek miktarları belirlenmiştir. Yoğunluk ölçümleri yapılırken döküm parçanın yoğunluğunun tamamen ölçülebilmesi amacıyla numuneler, üretilen döküm çubuğunun alt, üst ve orta kısımlarından alınmış ve dolayısıyla sonuçlar mümkün olduğunca gerçeğe yaklaştırılmaya çalışılmıştır.

$$\% P = 100 * (Pt / Pg - 1) \quad (5.2)$$

P: Gözenek (%)

Pd: Gerçek yoğunluk ( $g/cm^3$ )

Pt: Teorik yoğunluk ( $g/cm^3$ )

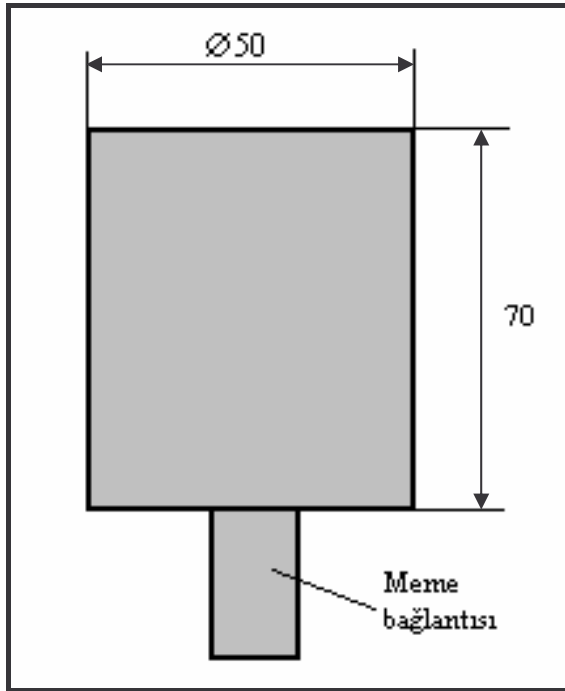


Şekil 5.15. Yoğunluk incelemeleri için numunelerin tartım işlemlerinin gerçekleştirildiği hassas terazi ile suda yapılan tartımın şematik gösterimi

### 5.6.5. Besleme ihtiyacı incelemeleri

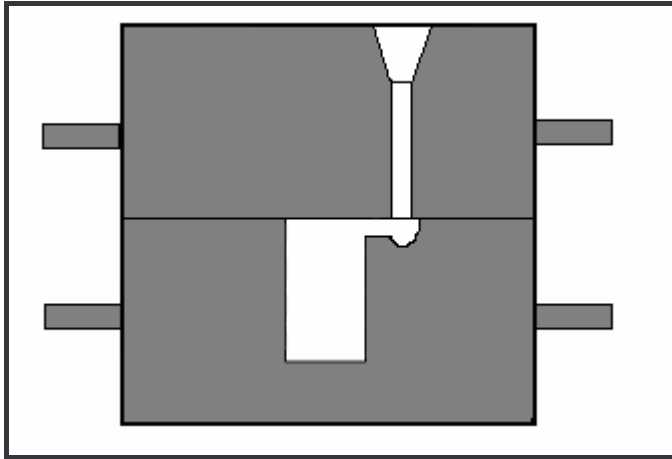
Yerçekimine ters ve geleneksel yaş kum kalıba döküm yöntemlerinde besleme ihtiyacı ve çekme karakteristiklerinin tespit edilmesi amacıyla Şekil 5.16'da verilen  $\varnothing 50 \times 70$  mm ölçülerindeki kalın kesite sahip silindirik şekilli model kullanılmıştır. Döküm işlemleri 600, 640 ve 690 °C sıcaklık ile 100, 250 ve 500 mmHg vakum şartlarında gerçekleştirilmiştir.

Geleneksel yerçekimi yönteminde model Şekil 5.17'de görüldüğü gibi alt dereceye dikey pozisyonda yerleştirilmiş, dikey yolluk ve buna bağlı olan tek meme yardımıyla döküm işlemi gerçekleştirilmiştir. Yerçekimine ters döküm işlemlerinde ise; Şekil 5.18'de olduğu gibi dikey pozisyondaki modelin alt kısmından meme bağlantısı yardımıyla döküm işlemleri gerçekleştirilmiştir.

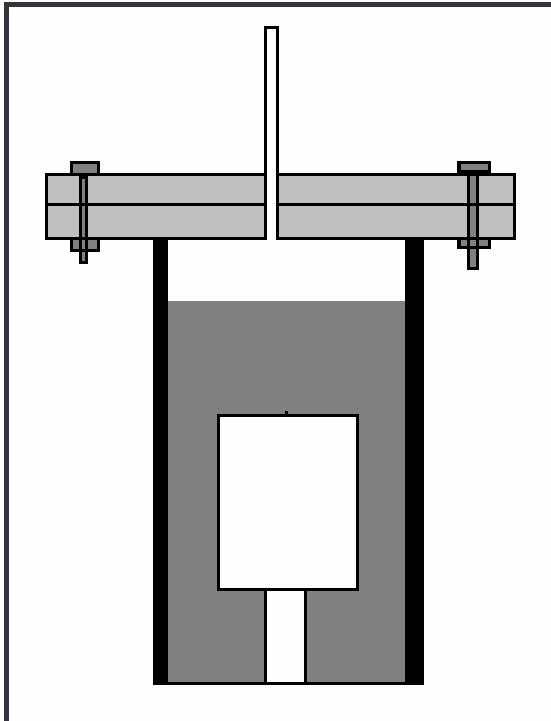


Şekil 5.16. Besleme ve besleyici ihtiyacının belirlenmesi için kullanılan silindirik parçanın şematik gösterimi

Döküm işlemleri sonucunda elde edilen parçalar kullanılarak önce parçanın dış kısmından, daha sonra ise dikey yönde ortalarından kesilen numuneler üzerinde besleme konusundaki incelemeler gerçekleştirilmiştir.



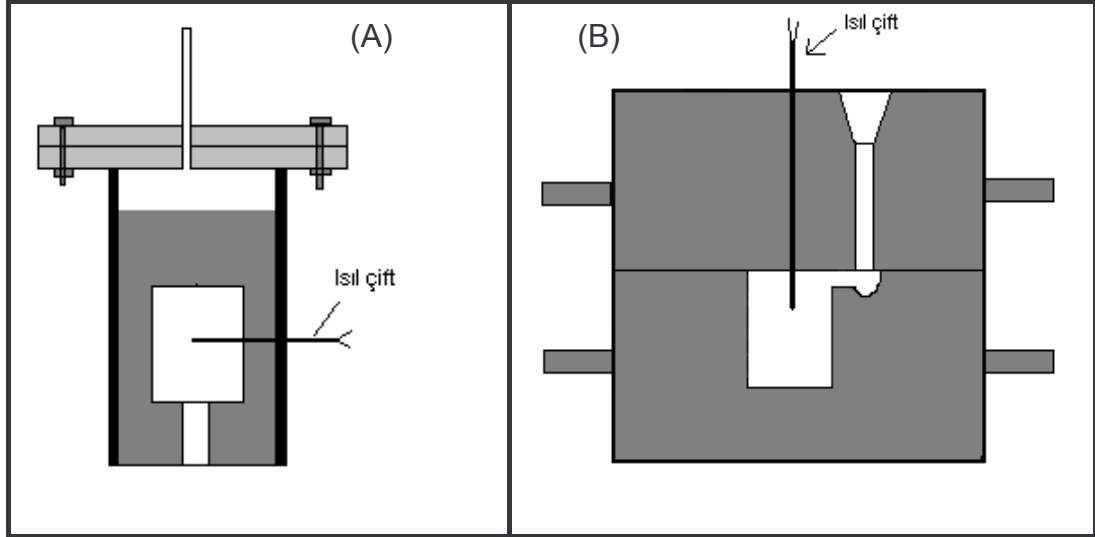
Şekil 5.17. Geleneksel döküm yönteminde besleme ve besleyici ihtiyacı deneyleri için oluşturulan kalıp tasarımının gösterimi



Şekil 5.18. Yerçekimine ters döküm yönteminde besleme ve besleyici ihtiyacı deneyleri için oluşturulan kalıp tasarımının gösterimi

### 5.6.5. Katılma özelliklerinin incelenmesi

Katılma özellikleri incelemesi; döküm şartlarında katılan malzemenin vakum uygulamasına bağlı olarak katılma sıcaklığı ve süresindeki meydana gelebilecek değişiminin tespit edilerek yapı ve özelliklere etkisinin belirlenmesi amacıyla yapılmıştır. Bu amaçla,  $\varnothing 50 \times 70$  mm ölçülerindeki silindirik şekilli model yardımıyla hazırlanan döküm kalıplarına (Şekil 5.19 )  $690C^{\circ}$  sıcaklıkta ticari safliktaki (%99,3 Al) ETİAL-3 malzemesi kullanılarak döküm işlemleri yapılmıştır.



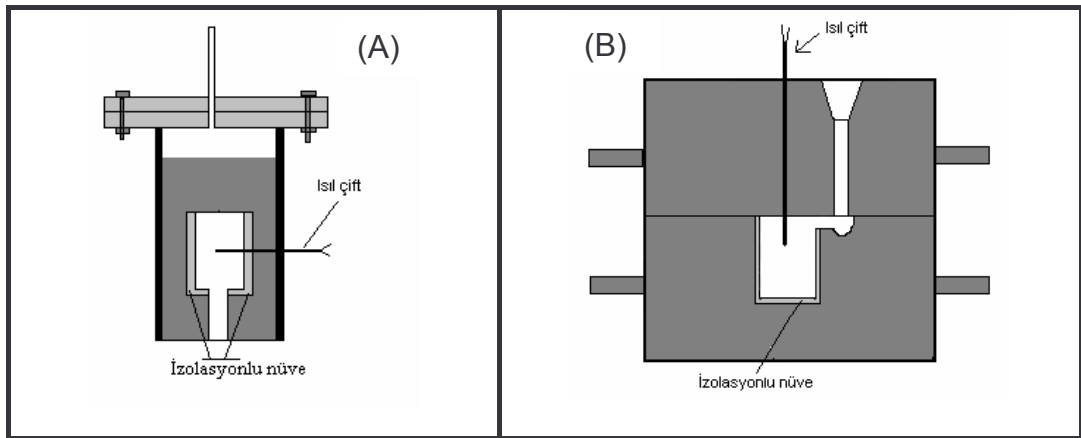
Şekil 5.19. Katılma süresi ölçümlerinde kullanılmak üzere hazırlanan yaş kum kalıpların şematik gösterimi (A) yerçekimine ters ve (B) geleneksel

Deneyler geleneksel yöntemde  $690C^{\circ}$  sıcaklıkta basınç uygulanmadan ve yerçekimine ters dökümde ise aynı sıcaklıkta 100, 250 ve 500 mmHg vakum uygulanması ile gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar aracılığıyla hem geleneksel hem de yerçekimine ters dökümde farklı miktarlardaki vakum uygulamalarının katılmaya etkisinin belirlenmesi sağlanmıştır. Sıcaklık ölçümü ile ilgili veriler; 0.2 mm'lik K tipi mineral izoleli ısı çifti kullanılarak data-logger yardımıyla alınmıştır. Elde edilen veriler buradan bilgisayara

aktarılarak grafik haline getirilmiş ve değerlendirmelerin kolaylıkla yapılması sağlanmıştır.

Ancak yukarıda bahsedilen şartlarda elde edilen sonuçlar sadece soğuma hızlarının değişimlerinin tespitinde kullanılabilmiştir. Katılaşmanın başladığı sıcaklığın belirlenebilmesi için hazırlanan özel nüveli kalıp (Şekil 5.20) ve yukarıda sayılan araç ve gereçler kullanılarak döküm sıcaklığı ve uygulanan basınca bağlı olarak katılaşma noktasındaki değişimler tespit edilmiştir. Elde edilen yapı ve özellikle ilgili sonuçların daha iyi açıklanabilmesi amacıyla, deneylerin hemen hemen tümünde kullanılan ETİAL-171 alaşımının kullanımı termal özelliklerin tespit edilmesinde tercih edilmiştir.

Hazırlanan kalıbın iç kısmında ısı transfer hızı çok düşük olan malzemeden üretilen bir nüve yerleştirilmiştir. Bu nüvenin dış kısımları ise kalıplama işlemlerinde kullanılan yaş kum ile doldurulmuştur. Kalıp boşluğu içerisine uç kısmı parçanın merkezine gelecek şekilde termokupullar yerleştirilerek sıcaklık ölçümleri sağlanmıştır.



Şekil 5.20. Katılaşma noktası ölçümlerinde kullanılmak üzere hazırlanan yaş kum kalıplarının şematik olarak gösterimi (A) yerçekimine ters ve (B) geleneksel

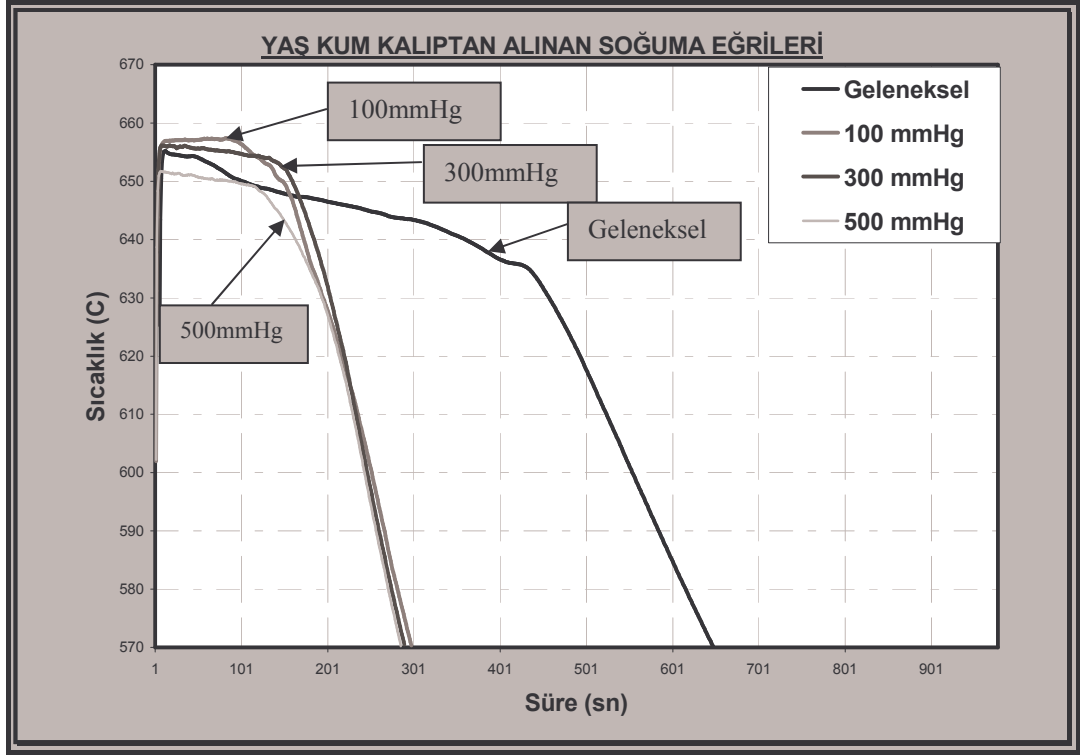
## 6. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada elde edilen tüm sonuçların değerlendirilmesi; çeşitli ana başlıklar altında toplanarak konu ile ilgili olarak daha sağlıklı bilgilerin elde edilmesi ve yapılacak diğer çalışmalara ışık tutması amaçlanmıştır. Yapılan değerlendirmelerde elde edilen sonuçların kıyaslanabilmesi için daha önceden yapılan yayınlardan yararlanılmıştır.

### 6.1. Katılma Özellikleri Bakımından Geleneksel ve Yerçekimine Ters Döküm Yöntemlerinin Değerlendirilmesi

Deneysel çalışmalarda katılma özelliklerinin vakum uygulanması ile değişiminin incelenmesi amacıyla  $\varnothing$  50x70 mm boyutlarındaki parçanın saf Al ile dökülmesi sonucunda elde edilen soğuma eğrileri Şekil 6.1'de verilmiştir. Soğuma eğrileri incelendiğinde vakum uygulaması ve geleneksel döküm yöntemi ile üretilen numunelerin döküm sıcaklıklarının aynı olmasına rağmen; katılma sürelerinin değiştiği görülmektedir. Bu sonucun oluşmasında vakum uygulamasının etkili olduğu düşünülmektedir. Aynı sıcaklık ve kalıp şartlarında döküm işlemleri sonucunda geleneksel yöntemle üretilen numuneden elde edilen soğuma eğrisi incelendiğinde; katılma süresinin vakum uygulanan numunelere kıyasla iki kat daha fazla uzun olduğu görülmektedir. Vakum uygulaması sonucunda hızlı katılmaya bağlı olarak tane ve Si faz boyutu küçülmektedir. Benzer sonuçlar üretilen numunelerin yapı ve özelliklerinin incelenmesi sırasında da görülmekte ve sonuçların değişimine etkisi vurgulanmaktadır.

Basıncın (sıkıştırma döküm-squeeze casting) etkisi ile katılma süresinin kısaldığı yapılan bir çalışmada [55] belirtilmektedir. Çalışmada katılma süresindeki bu kısalmaya sebep olarak kalıptan ısı akışının basınç artışı ile artması ve katılmanın hızlandırılması olarak belirtilmektedir. Basınç yardımı ile atomlar daha kolay bir araya gelerek katılmanın hızlanması sağlanmaktadır.

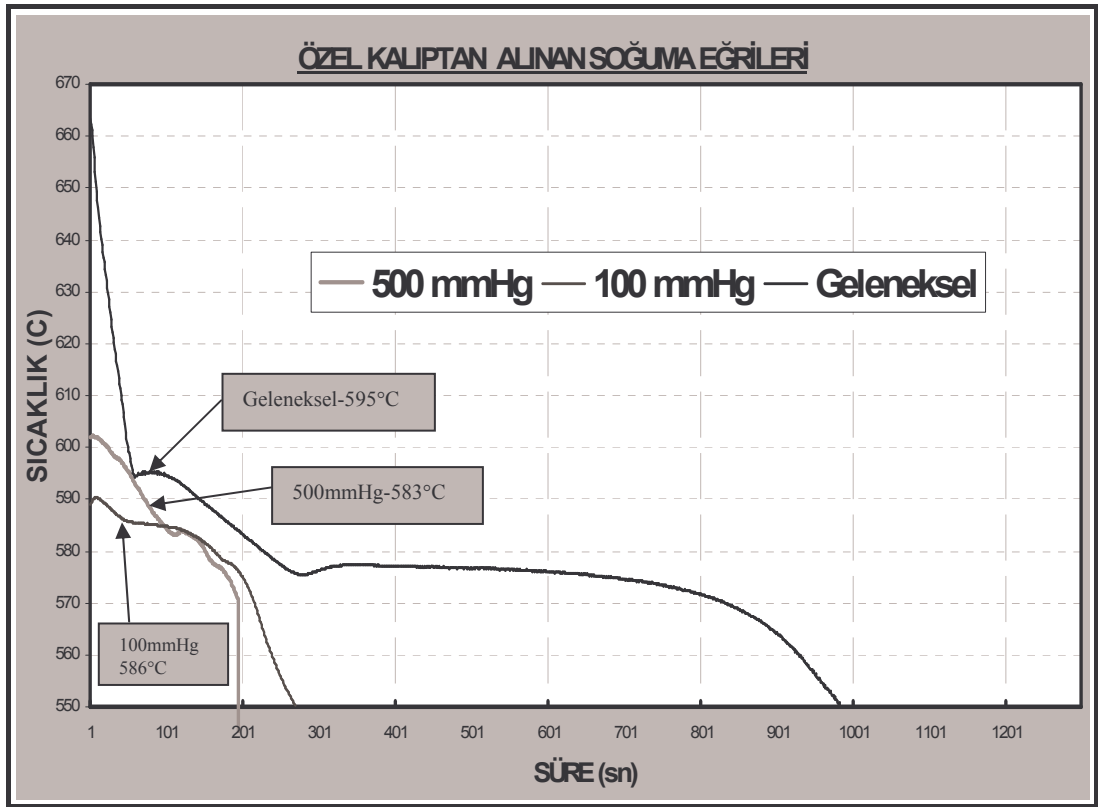


Şekil 6.1. Geleneksel ve yerçekimine ters döküm yöntemi ile üretilen parçaların soğuma eğrileri

Yaş kum kalıpta saf yakın Al (ETİAL 3) alaşımının katılaşması sonucu Şekil 6.1'deki eğrilerin elde edildiği sıcaklık ve vakum şartlarında katılaşma süresi tespit edilebilmiştir. Ancak katılaşma noktası konusunda bilgi edinilememiştir. Bu amaçla özel olarak düşük ısı transfer katsayısına sahip kalıplar hazırlanmıştır. Hazırlanan bu kalıplar kullanılarak katılaşma sıcaklığı üzerine vakumun etkisi belirlenmeye çalışılmıştır. Şekil 6.2'de ise izolasyonlu özel kalıp ile döküm sonucunda elde edilen soğuma eğrileri verilmektedir. Döküm işlemlerinde ETİAL-171 Al-Si alaşımı kullanılarak elde edilen sonuçların üretilen numunelerin özellikleri ile ilgili sonuçlarının değerlendirilmesinde kullanılması amaçlanmıştır.

Diğer yandan katılaşma sıcaklığı bakımından Şekil 6.2 incelenirken geleneksel yöntemle üretilen numunedan alınan soğuma eğrisine bakıldığında katılaşmanın başladığı sıcaklığın yaklaşık 595 °C olduğu görülmektedir. 100 ve 500 mmHg vakum uygulandığında katılaşmanın

başladığı sıcaklığın değiştiği görülmüştür. 100 mmHg vakum miktarında yaklaşık 586 °C'de katılaşma başlarken, 500 mmHg vakumda ise 583 °C'de katılaşma başlamaktadır. Uygulanan vakum sonucunda katılaşma sıcaklığının aşağıya doğru düştüğü net olarak görülmektedir. Aynı zamanda yüksek vakum uygulanması sonucunda katılaşma sıcaklığı daha da aşağıya inmektedir. Elde edilen sonuçlar (Şekil 6.1 ve Şekil 6.2) kullanılarak; üretilen malzemelerin mikro ve makroyapıları, mekanik özellikleri, yoğunluk ve gözenek miktarları, ince kesitli parçaların dökülebilirliği ve kalın kesitli parçalarda besleme ihtiyacı konularındaki deney sonuçlarının açıklanması ve değerlendirilmesinin kolaylaşacağı düşünülmüştür.



Şekil 6.2. İzolasyonlu özel kalıp ile döküm sonunda elde edilen soğuma eğrileri

Her iki deney sonucunda da (Şekil 6.1 ve Şekil 6.2) vakum uygulamasına bağlı olarak katılaşma süresinin geleneksel döküme göre azaldığı, geleneksel yöntemle üretimde elde edilen katılaşma süresinin yarısı kadar bir

zamanda katılaşmanın gerçekleştiği tespit edilmiştir. Vakum ile döküm yapılırken kalıp ortamından ısı daha kolay çekilmekte ve vakumun etkisiyle çekirdeklenme teşvik edilerek katılaşma hızı artırılmaktadır. Bunun sonucunda katılaşma zamanı kısalmaktadır. Elde edilen sonuçların katılaşma süresi bakımından basınçlı döküm uygulama sonuçlarına benzediği görülmüştür [34, 55].

## **6.2.Yapısal Özellikler Açısından Geleneksel ve Yerçekimine Ters Yaş Kum Kalıba Döküm Yöntemlerinin Değerlendirilmesi**

### **6.2.1. Makroyapı özelliklerinin değerlendirilmesi**

Tane boyutu ile ilgili çalışmalarda öncelikle deneysel çalışmalarda kullanılan ETİAL-171 Al-Si alaşımı kullanılmıştır. Ancak, tane inceltme işlemi uygulanmamasına rağmen, tane yapısının bu alaşıma uygulanan tüm dağlama malzemeleri ve teknikleri neticesinde tane sınırları net görülememiştir. Bu nedenle makroyapı incelemelerinde ticari saflıktaki ETİAL-3 (% 99,36 Al) Al malzemesi kullanımı tercih edilmiştir. Bu malzeme kullanılarak yapılan vakumda katılaştırma çalışmaları ile yöntemin tane yapısına etkisi tespit edilmeye çalışılmıştır.

Döküm yolu ile üretilen parçalarda tane boyutu çeşitli şekillerde değiştirilebilmektedir. Bunlar; tane inceltici ilavesi, soğutucu kullanımı, ısı iletkenliği yüksek kalıp malzemesi kullanımı ve kesit kalınlığının azaltılması v.s. sayılabilir [11,52]. Diğer yandan basınçlı döküm uygulamaları sonucunda da tane boyutu küçültülebilmektedir [34, 55]. Döküm işleminde ifade edilen işlem ve yöntemlerle ilgili olarak yayınlar ve elde edilen sonuçlar bulunabilmesine rağmen, vakum uygulaması sonucu tane yapısının değişimi konusunda bilgi bulunmamaktadır.



Resim 6.1. Ticari safliktaki ET1AL-3 Al malzemesinin dökülmesi sonucu üretilen numunelerin makroyapı görüntüleri, a) geleneksel döküm, b) 100 mmHg ve c) 500 mmHg vakum ile yerçekimine ters döküm

Sabit sıcaklıkta 100 ve 500 mmHg vakum uygulaması şartlarında döküm işlemi yapılan  $\varnothing$  50 x 70 boyutlarındaki silindirik ticari saflıktaki ETİAL-3 (% 99,3 Al) parçaların kaba dağlama işlemi sonucunda elde edilen makroyapılar Resim 6.1'de verilmektedir. Makroyapı görüntüleri incelendiğinde geleneksel döküm işlemi sonucu elde edilen tane boyutu ile yerçekimine ters döküm sonucu elde edilen tane boyutu arasında önemli farklılıkların olduğu görülmektedir. Uygulanan vakuma bağlı olarak tane boyutu küçülmektedir. Ölçümler sonucunda geleneksel yöntemle üretilen numunede ortalama tane boyutu 0,85 mm iken, 100 mmHg vakumda 0,27 mm ve 500 mmHg vakumda ise 0,18 mm tane boyutu elde edilmiştir.

Vakum uygulaması sonucunda üretilen numunelerin katılma süresinin geleneksel döküm yöntemi ile üretilen numunenin yaklaşık yarısı kadar olması katılma hızının vakum ile arttığını göstermektedir. Katılma hızındaki artış (Şekil 6.1) ve katılma başlangıç sıcaklığındaki azalma (Şekil 6.2) üretilen numunelerde çekirdeklenmeyi teşvik etmektedir. Vakum miktarındaki artışa bağlı olarak sıvı metal içerisinde yüksek oranda çekirdeklenme meydana gelmekte ve sıvıdan katıya geçiş kolaylaşmaktadır. Bunun sonucunda tane boyutu da küçülmektedir. Benzer etkiler basınçlı döküm konusunda yapılan çalışmalarda [34, 55] da bildirilmektedir. Basıncın etkisiyle katılma teşvik edilerek tane boyutu küçülmekte ve dentrit kolları arası mesafeler kısalmaktadır.

### 6.2.2. Mikroyapı özelliklerinin değerlendirilmesi

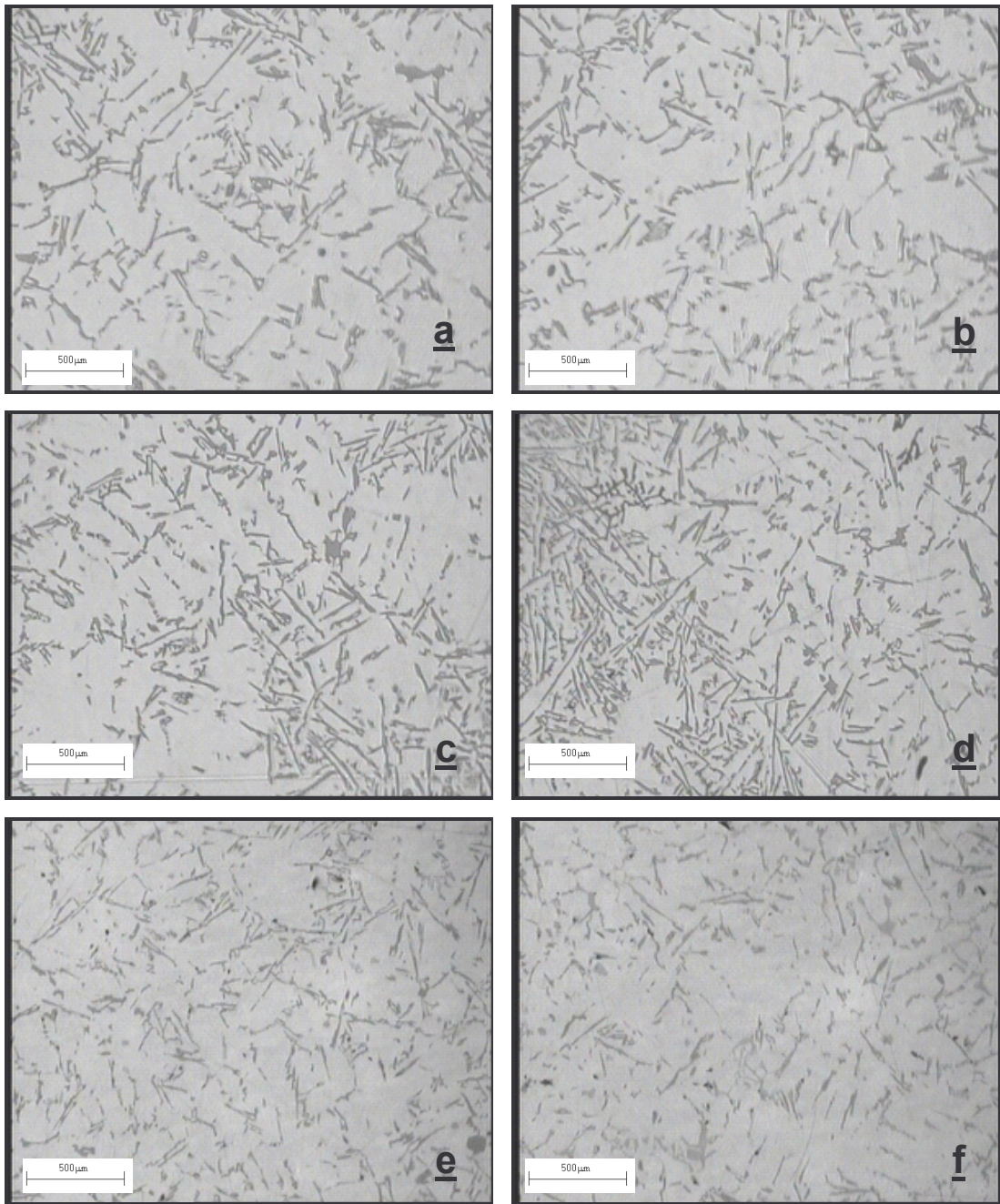
Üretilen numunelerden elde edilen mikroyapı görüntüleri Resim 6.2 - Resim 6.4'te verilmektedir. Değişen döküm sıcaklığı ve vakum miktarına bağlı olarak Si faz boyut ve şeklinin de değiştiği görülmektedir.

Al - % 10 Si malzemesinin mikroyapısı incelendiğinde genel katılma karakteristiğinin ötektik katılma şeklinde birincil  $\alpha$ -Al ve çubuk şeklindeki Si

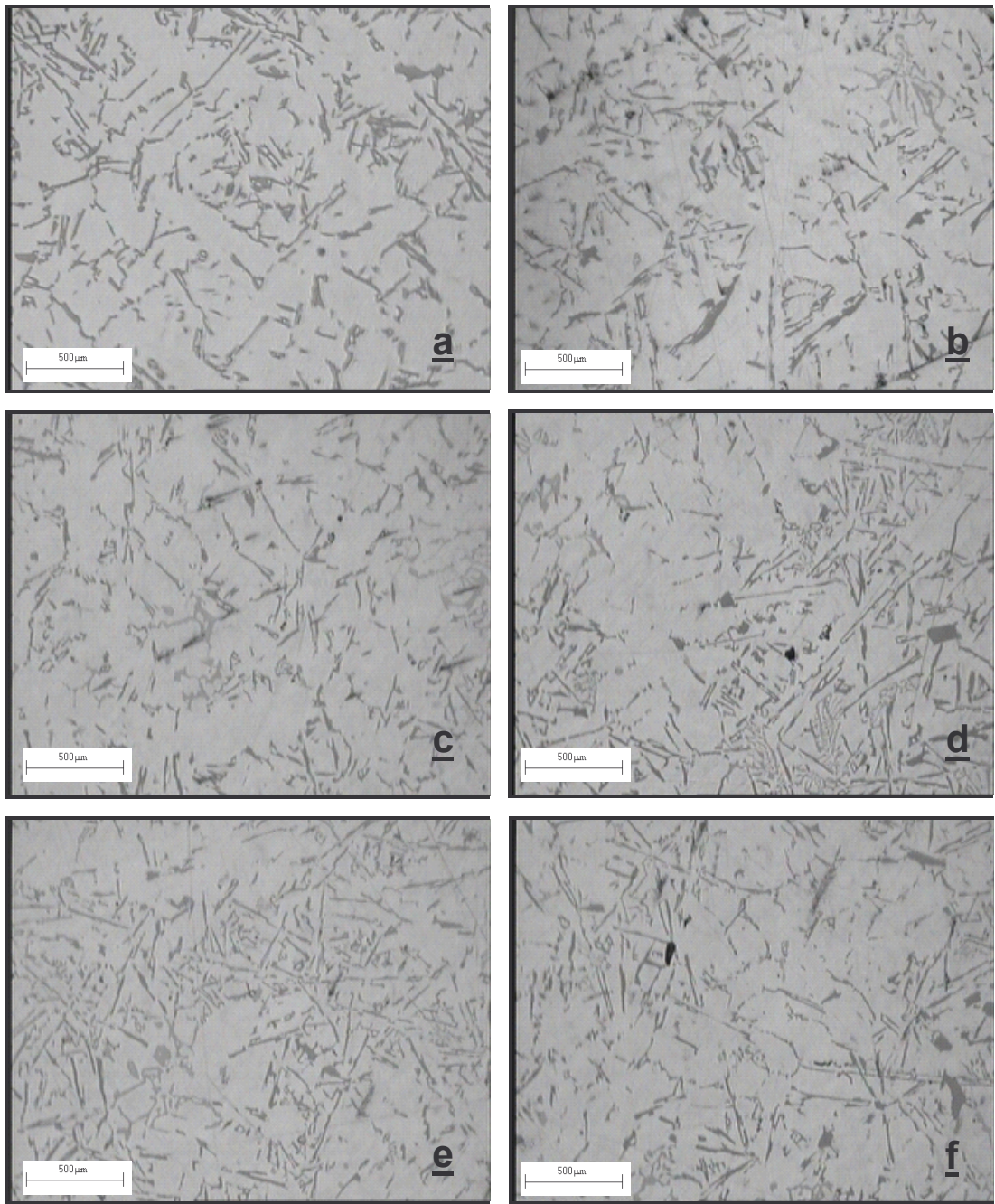
fazından oluştuğu görülmektedir. Azalan döküm sıcaklığı ile birlikte  $\alpha$ -Al ve Si fazının şeklinin değişime uğradığı görülmektedir. 690 °C'deki kaba ve uzun çubuk şeklindeki Si fazının 640 °C'de küçüldüğü görülmektedir. Bu durum döküm sıcaklığının 600 °C'ye düşmesi ile birlikte daha fazla değişimin oluştuğu görülmektedir. Bu sıcaklıkta daha yüksek sıcaklıklara oranla Si faz boyut ve şeklinin küçüldüğü görülmektedir. Vakum ile yerçekimine ters dökümde ise her üç döküm sıcaklığında da ötektik görünümde değişim meydana geldiği görülmektedir. Yapıdaki  $\alpha$ -Al fazının şekli büyümekte ve yuvarlak bir biçime dönüşmektedir. Si fazının ise kaba ve büyük görüntüsü değişerek; faz boyutunda küçülme ve aynı zamanda düz şeklinin kaybolarak yuvarlaklaşmalar görülmektedir. Bu durum vakum uygulaması sonucunda hızlı katılma (Şekil 6.1 ve Şekil 6.2) neticesinde oluşan tanelerin ve dentrit kolları arasındaki mesafelerin küçülmesi nedeniyle, ara yüzeylerde oluşan Si fazlarının küçülmesini sağlamıştır.

Ancak bu çalışmada Si fazının oran ve boyut ölçümleri ile ikincil  $\alpha$  fazı içerisindeki Si'un eriyebilirliğindeki değişimin tespiti yapılamamıştır. İleride yapılacak çalışmalarda bu konudaki incelemelerin yapılması ile işlem şartlarına bağlı olarak boyut, şekil, miktar ve eriyebilirlik oranı konularında bazı eksikliklerin giderilebileceği düşünülmektedir.

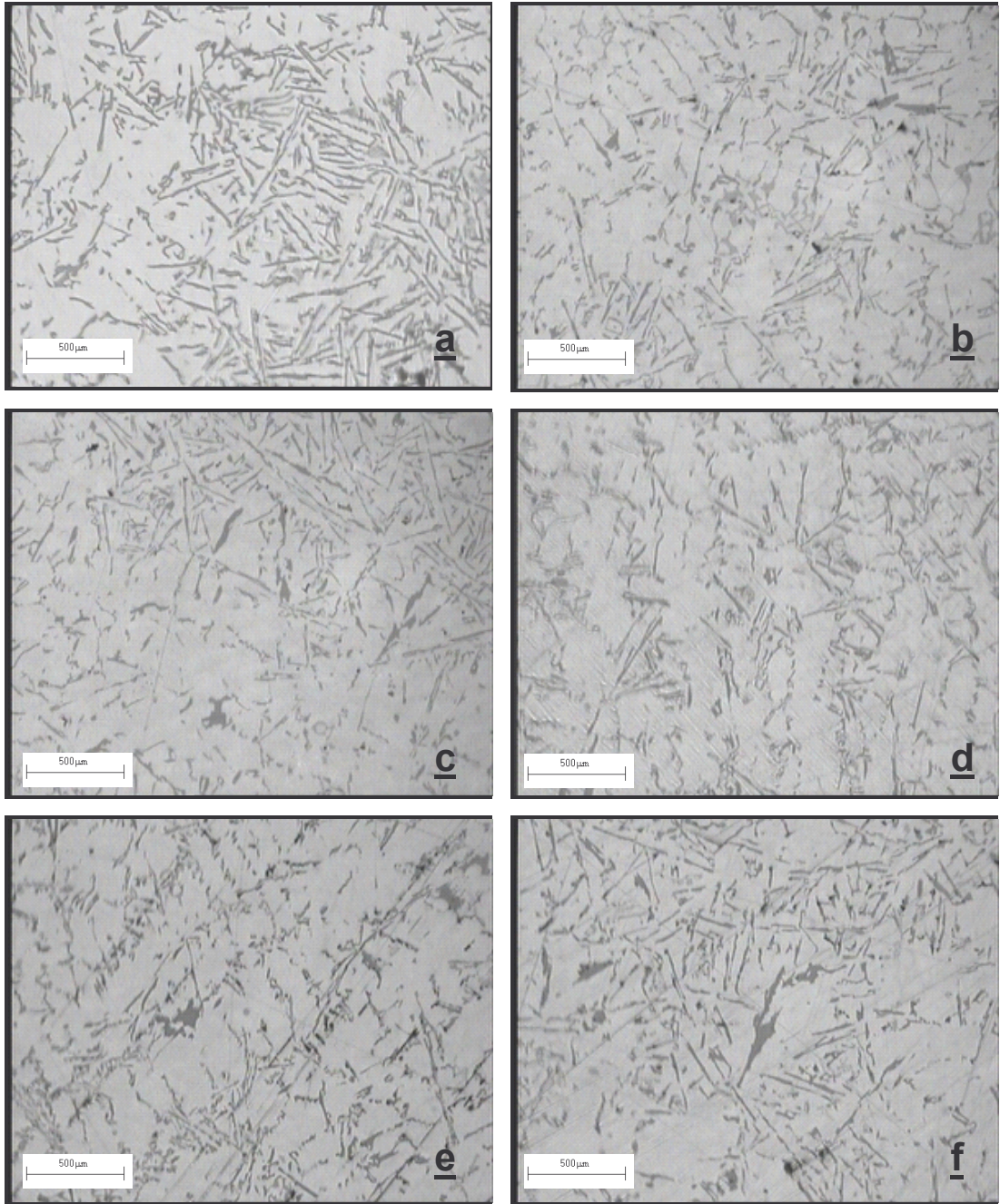
Çizgisel kesişme metodu kullanılarak üretilen numunelerde Si fazları arasındaki mesafenin döküm sıcaklığı ve vakum miktarına bağlı olarak değişimi tespit edilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde; fazlar arası mesafenin geleneksel dökümlerde 600 °C sıcaklıkta 10,73  $\mu\text{m}$ , 640 °C sıcaklıkta 12,33  $\mu\text{m}$  ve 690 °C sıcaklıkta ise 15  $\mu\text{m}$  olduğu görülmüştür. Döküm sıcaklığındaki artışa bağlı olarak Si faz aralığının arttığı görülmektedir. Si fazları ve dentrit kolları arası mesafelerin basınç uygulaması ile azaldığı başka bir çalışmada [34,55] da belirtilmektedir. Bu çalışmaya göre basınç miktarındaki artış katılma hızlandırdığından dentrit kolları arasındaki mesafe kısalmaktadır.



Resim 6.2. 600 °C döküm sıcaklığında ve farklı şartlarda üretilen numunelerin mikroyapı fotoğrafları, (a) geleneksel, (b) 100 mmHg, (c) 200 mmHg, (d) 250 mmHg, (e) 300 mmHg ve (f) 500 mmHg vakum altında



Resim 6.3. 640 °C döküm sıcaklığında ve farklı şartlarda üretilen numunelerin mikroyapı fotoğrafları, (a) geleneksel, (b) 100 mmHg, (c) 200 mmHg, (d) 250 mmHg, (e) 300 mmHg ve (f) 500 mmHg vakum altında

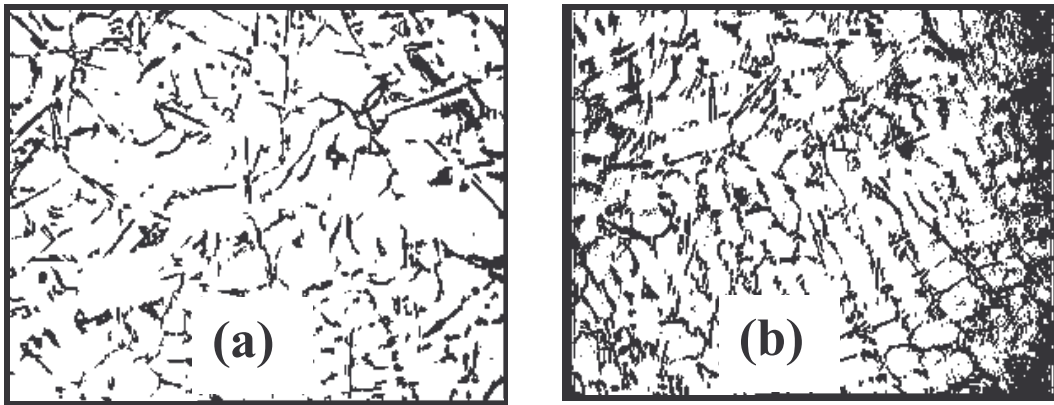


Resim 6.4. 690 °C döküm sıcaklığında ve farklı şartlarda üretilen numunelerin mikroyapı fotoğrafları, (a) geleneksel, (b) 100 mmHg, (c) 200 mmHg, (d) 250 mmHg, (e) 300 mmHg ve (f) 500 mmHg vakum altında

Bu durum döküm sıcaklığındaki artış ile birlikte Si fazının kabalaştığını göstermektedir. İlave olarak her bir döküm sıcaklığında ve 500 mmHg vakum miktarlarındaki Si fazları arasındaki mesafe de ölçülmüştür. Vakum

uygulanması ile birlikte fazlar arası mesafenin 600 °C sıcaklıkta 8,33  $\mu\text{m}$ , 640 °C sıcaklıkta 9,1  $\mu\text{m}$  ve 690 °C sıcaklıkta ise 13,3  $\mu\text{m}$  olduğu görülmüştür. Sonuçlar geleneksel yöntemle kıyasla her bir döküm sıcaklığında Si fazları arası mesafenin azaldığını göstermektedir. Geleneksel döküme göre 500 mmHg vakum uygulanarak Si fazları arasındaki mesafenin 600 °C sıcaklıkta % 22,36, 640 °C sıcaklıkta % 27 ve 690 °C sıcaklıkta ise % 11,33 azaldığı tespit edilmiştir.

Yukarıda sözü edilen yapısal değişimin daha iyi anlaşılabilmesi açısından Şekil 6.3'deki şematik gösterimin faydalı olabileceği düşünülmektedir. Verilen mikroyapı görüntüleri gerçek yapılardan alınmıştır. Ancak geleneksel ve vakum altında döküm sonucunda elde edilen yapılardaki değişimlerin kıyaslamasının daha rahat yapılabilmesi amacıyla örnek olarak verilmiştir. Şekil incelendiğinde genel olarak aynı sıcaklıkta üretim sonucu a'da verilen mikroyapı görünümünün geleneksel döküm ile üretilen numunelerde olduğu, b'deki görünümün ise yerçekimine ters döküm sonucunda meydana geldiği söylenebilir. Burada Si fazının yapısının vakum uygulaması ile birlikte küçüldüğü ve aynı zamanda ikincil  $\alpha$  fazının yuvarlak bir görünüm kazandığı daha iyi görülebilmektedir.



Şekil 6.3. Vakum uygulaması ve döküm sıcaklığına bağlı olarak Si fazının görünümdeki meydana gelen değişimin şematik gösterimi, a) geleneksel döküm (640 °C) ve b) yerçekimine ters döküm (640 °C ve 250 mmHg vakum)

Öte yandan mikroyapıda sözü edilen değişimler bariz olarak ortaya çıkmamakta, karışık bölgesel değişimlerin bulunduğu görülmektedir. Vakum ile yerçekimine ters döküm yönteminin gerçekleştirilmesi için ergitme ünitesi üzerine yanaşabilen özel bir düzenek sayesinde döküm sürecinde tam olarak hedeflenen sıcaklıkta döküm işlemi sıcaklık düşüşü olmaksızın yapılabilirken, geleneksel yerçekimi döküm yönteminde ise döküm işlemi bir döküm potası kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Bu yöntemde de döküm işlemi hedeflenen sıcaklıkta yapılmasına rağmen, döküm sürecinde sıvı metalin potaya doldurulması, taşınması ve kalıba dökülmesi sırasında sıcaklığının biraz düştüğü ve bu şekilde sıvı metalin hedeflenen sıcaklıktan nispeten daha düşük sıcaklıklarda dökülmüş olabileceği ve diğer yandan döküm işlemlerinin gerçekleştirilmesinde uygulanan basınç (vakum) değerlerinin küçük olmasının da elde edilen sonuçların yakın olmasına neden olduğu düşünülmektedir. Bu durum ise, yerçekimine ters döküm yöntemi ile geleneksel yöntemde elde edilen mikroyapıların karşılaştırılması sırasında, iki yöntem ile elde edilen sonuçlar arasındaki farkların belirlenmesinde güçlükler meydana getirmektedir.

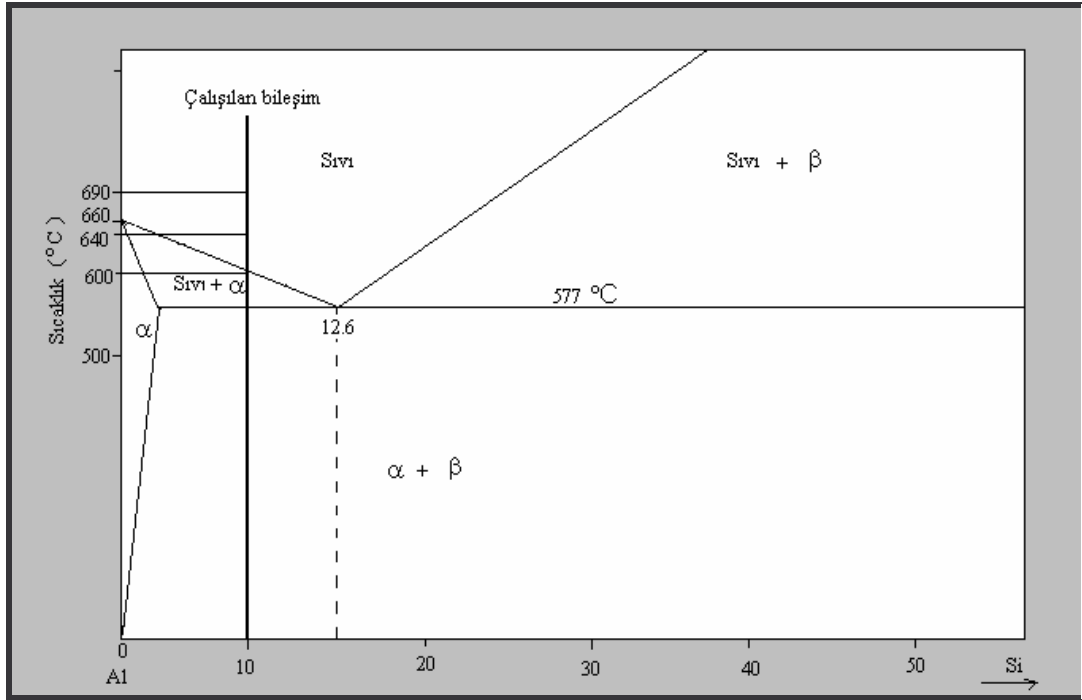
### **6.3. Elde Edilen Mekanik Özellikler Açısından Geleneksel ve Yerçekimine Ters Yaş Kum Kalıba Döküm Yöntemlerinin Değerlendirilmesi**

#### **6.3.1. Üretilen numunelerin mekanik özelliklerinin değerlendirilmesi**

Şekil 6.4'de bu çalışmada kullanılan Al - %10 Si alaşımının Al-Si denge diyagramı üzerinde kullanılan döküm sıcaklıklar gösterilmiştir. Şekilden 600 °C sıcaklığa dikkatli bir şekilde bakıldığında, bu sıcaklığın katılaşmanın başlangıç noktasında veya çok yakın bir sıcaklıkta olduğu görülecektir. Bu nedenle 600 °C sıcaklıkta mekanik özelliklerin tespiti için çubuk şeklindeki parçaların sağlam ve tam olarak dökümü geleneksel yöntemde gerçekleştirilememiştir. 600 °C sıcaklıkta geleneksel yöntemle döküm

yapılabilmiş, ancak üretilen çubukların boyları çok kısa olarak üretilebilmiştir. Bunun sonucunda üretilen çubuklar kullanılarak mekanik özelliklerin tespit edilmesi mümkün olmamıştır. Fakat bu çubuklar ile mikroyapı, yoğunluk ve sertlik gibi incelemeler yapılabılmıştır. Buna karşın, tüm vakum değerlerinde başarılı bir şekilde döküm işlemleri gerçekleştirilmiştir.

Geleneksel yerçekimi ve yerçekimine ters döküm yöntemleri ile üretilen numunelerin çekme dayanımı, kesit daralması, uzama ve sertlik gibi mekanik özellikleri Çizelge 6.1 ve Çizelge 6.2 ile Şekil 6.5 - Şekil 6.8'de verilmektedir. Sonuçlar; vakum uygulamasına bağlı olarak çekme dayanımı, kesit daralması, uzama ve sertlikte önemli oranda değişimin meydana geldiğini göstermektedir.



Şekil 6.4. Al-Si denge diyagramı üzerinde deneylerde kullanılan bileşimin ve döküm sıcaklıklarının gösterimi

Yerçekimine ters döküm konusundaki yayınlar [1-7,9,10,16,17,26,28,29,31,32,41,43,52] incelendiğinde; döküm basınç ve sıcaklığının yapı ve özellikler üzerine etkileri konusunda çalışma bulunmamaktadır. Ancak,

yapılan bazı yayınlarda [1,3,5,16,31,32]; sadece vakum uygulaması ile özelliklerin geliştiği ifade edilmekte, farklı sıcaklık ve vakum uygulaması sonucunda elde edilmiş veriler için vakum miktarları konusunda bilgiler bulunmamaktadır.

Diğer yandan basınçlı döküm (pres döküm-die casting) konusunda yapılan bu konu dışındaki diğer çalışmalar [33,34,52,53,59] incelendiğinde, basınç miktarındaki artışa bağlı olarak özelliklerin geliştirildiği görülmektedir. Ancak belirtilen çalışmalarda döküm yöntemlerinde mevcut şartların bu çalışmadaki şartlardan oldukça farklılık göstermesinden dolayı elde edilen sonuçların değerlendirilmesinde referans olarak kullanılması doğruluk arz etmemektedir. Elde edilen bu sonuçların mevcut çalışmada kullanılan şartlara bağlı olarak meydana gelebileceği de düşünülmektedir.

Döküm sıcaklığına bağlı olarak malzeme özellikleri değişmekte, sıcaklığın azalması ile mekanik özellikler iyileşmektedir. Yapılan bir çalışmada [39], döküm sıcaklığının artışına bağlı olarak mekanik özelliklerin kötüleştiği belirtilmektedir. Döküm sıcaklığının artması malzemenin katılaşma süresinin uzamasına neden olmakta, bu durum ise kaba tane yapısının oluşumuna neden olmaktadır. Tane yapısının büyümesi sonucu malzeme özellikleri kötüleşmektedir. Oysa düşük döküm sıcaklığı ile çalışma, hem işlem şartlarının kontrolü, gaz oluşumunun azaltılması, katılaşma çekmesi miktarındaki azalma, kalıp malzemelerinin özelliklerinin sıcaklıktan etkilenmemesi, maliyetin düşürülmesi gibi nedenler, hem de elde edilecek üstün özellikler açısından büyük önem taşımaktadır.

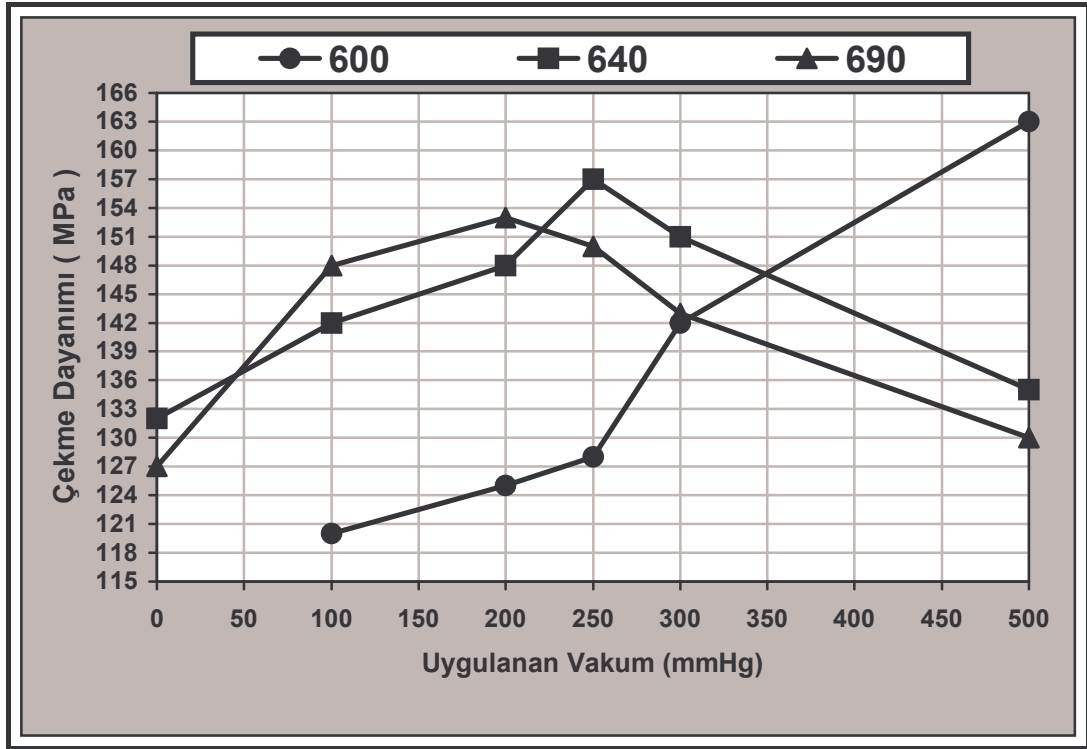
Çekme dayanımı ile ilgili sonuçlar Çizelge 6.1 ve Şekil 6.5'te verilmiştir. Sonuçlar döküm sıcaklığı bakımından değerlendirildiğinde; sıcaklıktaki azalmaya bağlı olarak hem geleneksel hem de yerçekimine ters yaş kum kalıba döküm işlemleri sonucunda dayanımın arttığı görülmektedir.

Çizelge 6.1. Döküm sıcaklığı ve basıncına bağlı olarak mekanik özelliklerin değişimi

Numune	Özellikler	Çekme Dayanımı (MPa)	Uzama (%)	Kesit Daralması (%)
1	(600 °C)	(*)	(*)	(*)
1a	(100 mmHg-600 °C)	120 ± 6	1,25	0,3
1b	(200 mmHg-600 °C)	125 ± 5,3	1,55	0,3
1c	(250 mmHg-600 °C)	128 ± 4,6	1,92	0,55
1d	(300 mmHg-600 °C)	142 ± 3,5	2,4	0,7
1e	(500 mmHg-600 °C)	163 ± 4	2,82	1,1
2	(640 °C)	132 ± 5,9	1,53	0,8
2a	(100 mmHg-640 °C)	142 ± 5,6	2,36	1,2
2b	(200 mmHg-640 °C)	148 ± 6,1	2,59	1,45
2c	(250 mmHg-640 °C)	157 ± 4,3	3,1	1,4
2d	(300 mmHg-640 °C)	151 ± 3,8	2,87	0,87
2e	(500 mmHg-640 °C)	135 ± 7,2	1,78	0,78
3	(690 °C)	127 ± 8,3	1,92	0,72
3a	(100 mmHg-690 °C)	148 ± 6,5	2,10	0,85
3b	(200 mmHg-690 °C)	153 ± 7,1	2,38	1,1
3c	(250 mmHg-690 °C)	150 ± 5,2	2,73	0,8
3d	(300 mmHg-690 °C)	143 ± 6,2	2,7	0,75
3e	(500 mmHg-690 °C)	130 ± 4,7	2,15	0,61
(*) : Döküm işlemi sonucunda sağlam numune üretimi gerçekleştirilememiştir.				

Vakum uygulaması sonucunda üretilen malzeme özelliklerinin de geleneksel yöntemle üretilen parça özelliklerine kıyasla önemli oranda geliştiği tespit edilmiştir. Ancak 600 °C sıcaklıkta özellikle 100 ve 200 mmHg vakum seviyelerinde özelliklerin 640 ve 690 °C döküm sıcaklıklarındaki geleneksel yöntemle döküme kıyasla daha düşük olduğu görülmektedir. Bu durumun en önemli sebebi olarak; düşük sıcaklıkta döküm malzemesinin yarı katı halde olması sebebiyle düşük vakum seviyelerinde döküm sonucunda düşük yoğunlukta döküm parça üretiminin gerçekleştirilmiş olduğu söylenebilir [34]. Düşük yoğunluk sonucunda yüksek oranda gözenek meydana gelmekte ve

mekanik özellikler kötüleşmektedir. 600 °C sıcaklıkta 500 mmHg vakum seviyesinde ise bu çalışmada elde edilen en yüksek dayanımın sağlanması yukarıda ifade edilen görüşü doğrulamaktadır. Çünkü çok düşük vakum ve sıcaklık şartlarında döküm işlemi oldukça güçleşmekte, hatta imkansızlaşmaktadır. Aynı zamanda döküm sırasında hızlı katılaşma neticesi düşük yoğunlukta parça üretimi söz konusu olmaktadır.

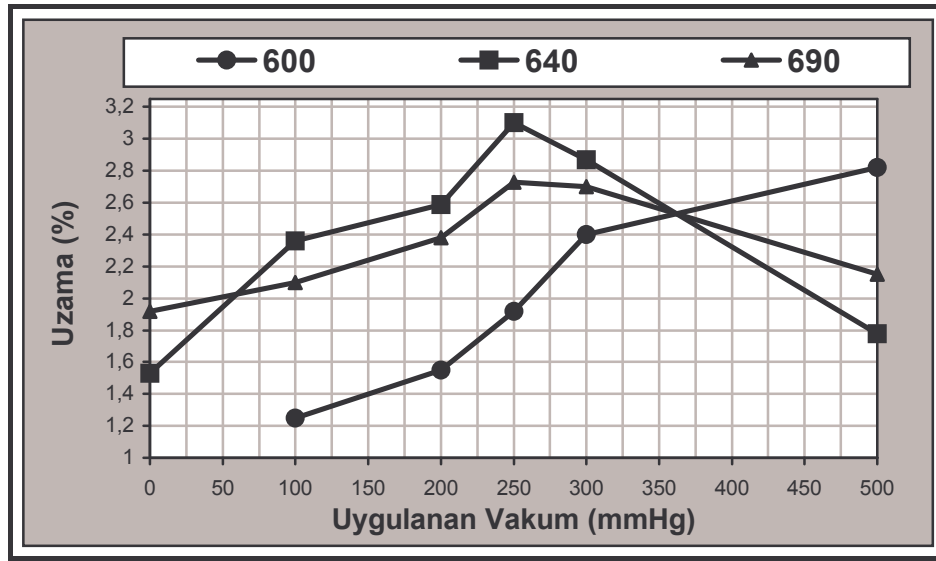


Şekil 6.5. Uygulanan vakum miktarına bağlı olarak her bir döküm sıcaklığındaki çekme dayanımının değişimi

Diğer döküm sıcaklıklarında (640 ve 690 °C) elde edilen sonuçlara bakıldığında ise düşük vakum (0, 100 ve 200 mmHg) sonucu düşük dayanım elde edilirken, vakum miktarının yaklaşık 250 mmHg seviyelerine çıkarılması sonucunda en yüksek dayanım değerlerine ulaşılmaktadır. Vakum miktarının daha fazla artırılması ile dayanım tekrar azalma göstermektedir. Bu çalışmada kullanılan çalışma sıcaklıklarında en yüksek dayanım değerlerinin 600 °C'de 500 mmHg, 640 °C sıcaklıkta 250 mmHg ve 690 °C'de ise 200 mmHg vakum seviyelerinde elde edildiği görülmektedir. Bu sonuçlar; döküm

sıcaklığındaki artışa bağlı olarak daha düşük vakum seviyelerinde daha yüksek dayanım elde edilebileceğini açıkça göstermektedir. Bir başka ifadeyle yaş kum kalıba döküm işlemlerinde yüksek döküm sıcaklığında düşük vakum uygulaması dayanım özelliklerinin geliştirilmesinde avantaj sağlamaktadır.

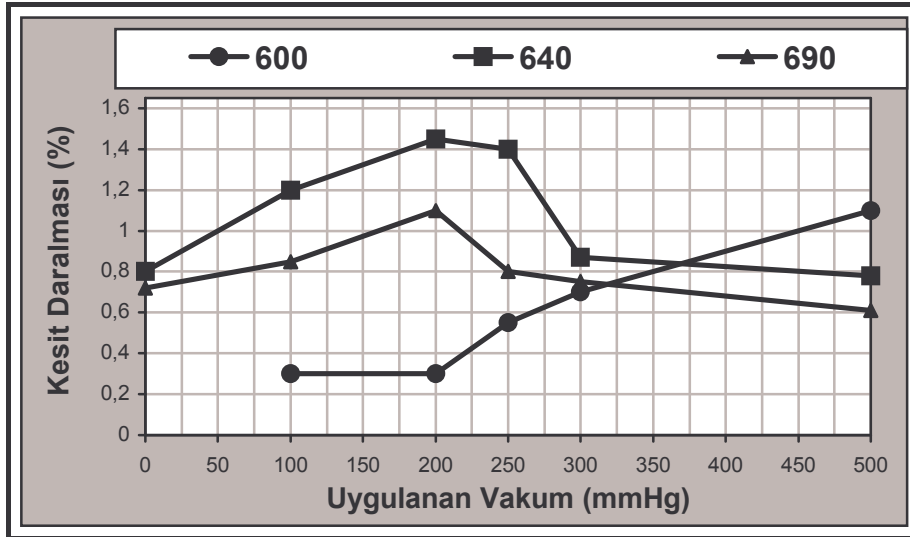
Uzama ve kesit daralması ile ilgili özellikler (Çizelge 6.1, Şekil 6.6 ve Şekil 6.7) incelendiğinde dayanıma benzer sonuçların elde edildiği görülmektedir. 600 °C sıcaklıkta en iyi özellikler 500 mmHg vakum değerinde elde edilirken, 640 °C'de 250 ve 690 °C sıcaklıkta ise 200 mmHg vakum değerinde elde edilmiştir. Bu sonuçlar dayanım ile paralellik göstermektedir.



Şekil 6.6. Uygulanan vakum ve döküm sıcaklığına bağlı olarak % uzamanın değişimi

Mekanik özellikler döküm sıcaklığı ve uygulanan vakumdan doğrudan etkilenmektedir. 600 °C döküm sıcaklığı Al-%10 Si döküm malzemesi için yarı-katı yada en azından katılaştırmanın başladığı sıcaklık olmaktadır. Bu durumda geleneksel yöntemle döküm işlemi başarıyla gerçekleştirilememiştir. Vakum uygulaması sonucunda ise döküm yapılabilmiştir. Özelliklere bakıldığında 600 °C sıcaklıkta vakum seviyesi yükseldikçe özelliklerin de gelişmesi bu durumu daha iyi açıklamaktadır. Döküm sıcaklığı yükseldikçe en

iyi özellikler 640 °C için 250 mmHg vakum ile elde edilirken, 690 °C'de ise 200 mmHg'da elde edilmiştir. Artan sıcaklığa bağlı olarak uygulanan vakum seviyesinin azaltılması üretilen parçaların özelliklerinin geliştirilebilmesi açısından gerekli görülmektedir.



Şekil 6.7. Uygulanan vakum ve döküm sıcaklığına bağlı olarak % kesit daralmasının değişimi

Diğer yandan basınçlı döküm işlemlerinde basınç artışına paralel olarak özellikler gelişmektedir. Ancak basınçlı döküm işlemlerinde metalik kalıplar kullanılmaktadır. Bu çalışmada yaş kum kalıp kullanılmış ve bu kalıp malzemesi silis kumu, kil (bentonit) ve nem (su) karışımından meydana gelmektedir. Döküm sırasında kalıp malzemesindeki nem metal sıcaklığı ile birlikte su buharına dönüşmektedir. Yaş kuma döküm işlemlerinde gaz ile ilgili döküm hataları çok sıklıkla meydana gelmektedir. Vakum uygulaması ile kalıp içerisinde meydana gelen gazların yüksek vakum seviyelerinde dökümün ilk safhalarında katılaşma başlamadan önce parça içerisine emilebileceği düşünülmektedir. Katılaşmanın özellikle kalıp duvarlarından başlaması ve vakum ile hızlı katılaşma meydana geldiği için metal içersine çekilen bu gazlar içeride kalabilmektedir. Buna bağlı olarak yüksek sıcaklıkta ve vakum seviyelerinde özellikler kötüleşmektedir. Bu durum Bölüm 6.3.2'de geniş olarak tartışılmaktadır. Elde edilen yoğunluk ve gözenek ölçüm

sonuçlarına (Çizelge 6.4, Şekil 6.10 ve Şekil 6.11) bakıldığında; bu sonuca varılmasındaki haklılık daha iyi anlaşılacaktır. Yüksek sıcaklık ve vakum seviyelerinde yoğunluk azalmakta ve gözenek miktarı artmaktadır.

Yoğunluktaki azalma ve gözenekdeki artış sonucunda mekanik özellikler olumsuz etkilenmekte ve düşüş göstermektedir. Gözenek artışına bağlı olarak özelliklerin kötüleşmesi yapılan bir çalışmada [34] da ifade edilmektedir. Bu çalışmaya göre gözenek artışı mekanik özelliklerde düşüşe neden olmaktadır. Çalışma sonuçları Çizelge 6.2'de verilmiştir.

Çizelge 6.2. Basınçlı döküm işlemlerinde ilave olarak vakum uygulaması sonucu yoğunluğun artışına bağlı olarak mekanik özelliklerin değişimi [34]

Alaşım	Yöntem	Çek. Day. (Mpa)	Uzama (%)	Sertlik (HRF)	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )
Al-% 5 Si	Vakumsuz	196 ± 6,4	3,9 ± 0,9	73 ± 1,1	2,671 ± 0,012
	Vakum takviyeli	209 ± 10,1	4,5 ± 1,2	74 ± 1,3	2,721 ± 0,011
Al-% 8 Si	Vakumsuz	235 ± 8,5	3,2 ± 0,8	78 ± 1,2	2,715 ± 0,012
	Vakum takviyeli	276 ± 4,5	6,0 ± 0,41	80 ± 1,5	2,736 ± 0,012
Al-% 18 Si	Vakumsuz	225 ± 6,5	1,95 ± 0,2	93 ± 1,0	2,721 ± 0,002
	Vakum takviyeli	249 ± 8,3	2,2 ± 0,2	100 ± 0,8	2,733 ± 0,003

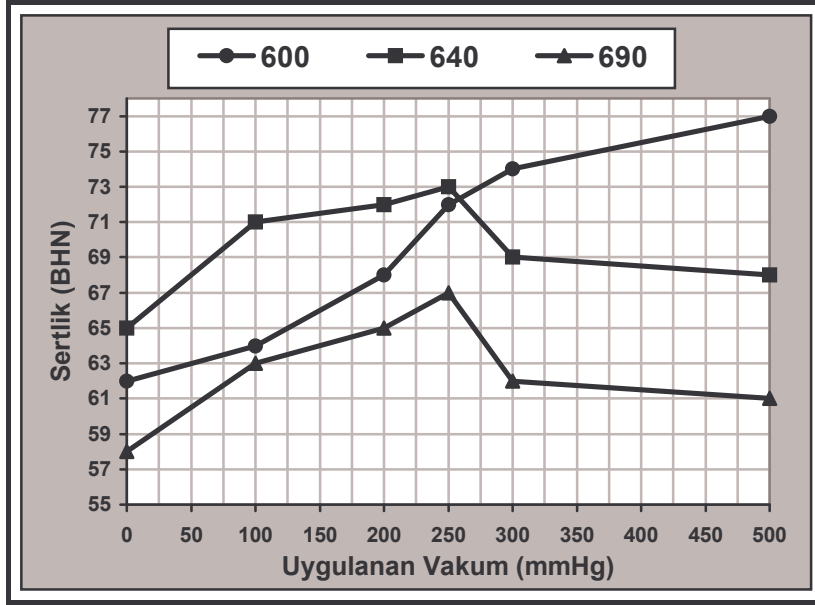
Bu çalışmada meydana gelen bu olumsuz sonuçların, yaş kum kalıplarda vakum ile döküm işlemlerinin yapılabilmesi için kalıp yüzeylerinin boyanması (kaplama) sonucunda giderilebileceği düşünülmektedir.

Geleneksel ve yerçekimine ters yaş kum kalıba döküm sonucunda üretilen numunelerden elde edilen sertlik değerleri Çizelge 6.3 ve Şekil 6.8'de verilmiştir. Sonuçlar döküm sıcaklığındaki artışa bağlı olarak benzer şartlarda üretilen numuneler karşılaştırıldığında sertliğin genel olarak azaldığını göstermektedir. Diğer yandan vakum uygulamasına bağlı olarak sertlikte artış meydana gelmektedir. Ancak sonuçlar incelendiğinde; dayanım özelliklerinin

geliştiği sıcaklık ve vakum şartlarında, sertliğin de arttığı, dolayısıyla dayanımın azaldığı şartlarda ise, sertliğin de azaldığı görülmüştür. Benzer sonuçların elde edilmesinde en önemli nedenin daha önce ifade edilen sıcaklık ve vakumun etkilerine bağlı olarak yoğunluk değerlerinin değişimine bağlı olduğu düşünölmektedir (Çizelge 6.1 - Çizelge 6.4). Yoğunluktaki artışa bağlı olarak sertlik de artmaktadır.

Çizelge 6.3. Döküm sıcaklığı ve basıncına bağlı olarak sertliğin değişimi

Numune	Sertlik (BHN)
1 (600 °C)	62 ± 1,5
1a (100 mmHg-600 °C)	64 ± 2
1b (200 mmHg-600 °C)	68 ± 2
1c (250 mmHg-600 °C)	72 ± 0,9
1d (300 mmHg-600 °C)	74 ± 1,5
1e (500 mmHg-600 °C)	77 ± 1,2
2 (640 °C)	65 ± 1,2
2a (100 mmHg-640 °C)	71 ± 1
2b (200 mmHg-640 °C)	72 ± 2
2c (250 mmHg-640 °C)	73 ± 2
2d (300 mmHg-640 °C)	69 ± 2,5
2e (500 mmHg-640 °C)	68 ± 1,1
3 (690 °C)	58 ± 2
3a (100 mmHg-690 °C)	63 ± 1,8
3b (200 mmHg-690 °C)	65 ± 2
3c (250 mmHg-690 °C)	67 ± 2
3d (300 mmHg-690 °C)	62 ± 1,4
3e (500 mmHg-690 °C)	61 ± 2



Şekil 6.8. Uygulanan vakum ve döküm sıcaklığına bağlı olarak sertliğin değişimi

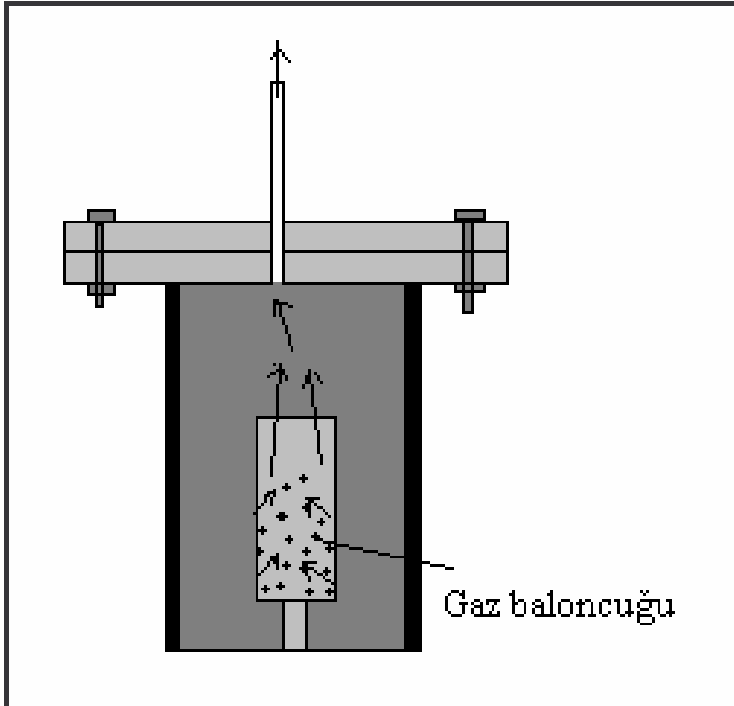
### 6.3.2. Üretilen numunelerden elde edilen yoğunluk ve gözenek miktarı özelliklerinin değerlendirilmesi

Literatürdeki bu yöntem konusundaki sonuçlar ve yapılan değerlendirmelere bakıldığında yerçekimine ters döküm yönteminin olumsuz yönlerinin bulunmadığı anlaşılmamalıdır. Her döküm yönteminde olduğu gibi bu yöntemde de eksiklik yada dezavantajlar bulunmaktadır. Ancak değerlendirmeler genel anlamda sağlanan avantajlar yada faydalar bakımından yapıldığından böyle bir tablo oluşmaktadır.

Vakum ile yerçekimine ters döküm yönteminin yaş kum kalıplarda kullanımının bazı sakıncaları olduğu ve bunlara bağlı olarak elde edilen sonuçların çok fazla netlik kazanmadığı yapılan bu çalışma sonuçlarıyla görülmüştür. Yaş kum kalıplarda nem bulunması nedeniyle; sıvı metal ile karşılaşan kalıp malzemesinde bulunan nemin  $2Al + 3H_2O \rightarrow Al_2O_3 + 3H_2$  reaksiyonu sonucunda hidrojen gözenekleri olarak kalıp boşluklarında kalması söz konusu olmaktadır (Şekil 6.9). Kalıbın doldurulmasının ilk safhalarında, kalıp boşluğunun tam olarak sıvı metal ile doldurulmadığı

aşamada ortaya çıkan bu gazlar uygulanan vakumun etkisiyle ortamdan uzaklaştırılması söz konusu olmaktadır. Ancak, sıvı metalin doldurulması ve katılaşmaya başlamasının çok kısa bir zamanda meydana geldiği gözden kaçırılmamalıdır. Gaz problemleri konusunda yapılan bazı çalışmalarda [10,54] da bu durum vurgulanmaktadır. Bu reaksiyon sonucunda gözenek meydana gelmekte ve üretilen parçaların özellikleri kötüleşmektedir.

Aynı zamanda; katılaşmanın başladığı yerlerden birisinin de kalıp duvarlarının olduğu göz önüne alındığında, ortaya çıkan gazların bir kısmının uygulanan vakumun etkisi ile kalıp boşluğundan sıvı metal dolmadan uzaklaştırılabilmesi mümkün olabilmektedir. Ancak; vakum uygulaması sırasında oluşan gazların derin (uzun) parçalarda sıvı metal içerisine çekilmesi ve hızlı katılaşma neticesinde kalıp boşluğu dışına atılamaması söz konusu olacaktır.



Şekil 6.9. Döküm işlemi sırasında kalıpta oluşan gazların metal içersindeki durumunun şematik olarak gösterilmesi

Yapılan çalışmada bu yargıya varılmasının en önemli nedeni yapılan yoğunluk incelemeleri sonuçlarıdır. Üretilen numuneler üzerinde yapılan yoğunluk incelemeleri sırasında döküm sıcaklığı ve vakum seviyesine bağlı olarak döküm numunelerin yoğunlukları da değişim göstermektedir. Döküm sıcaklığındaki azalma ile birlikte döküm malzeme yoğunluğunda artış meydana gelmiştir.

Kullanılan sistemdeki bu olumsuz sonuçlara sebep olan kalıp tasarımı gibi unsurların düzenlenmesi ve kalıp boyalarının kullanılması ile gözeneklerin azaltılarak özelliklerin daha fazla geliştirilebileceği düşünülmektedir. İlave olarak, diğer kalıp malzemeleri (metal, alçı, seramik v.b.) ile üretilen kalıpların kullanılması ile yapılacak çalışmaların sonuçları ile kıyaslamaların yapılması bu durumun açıklanmasında yarar sağlayacaktır.

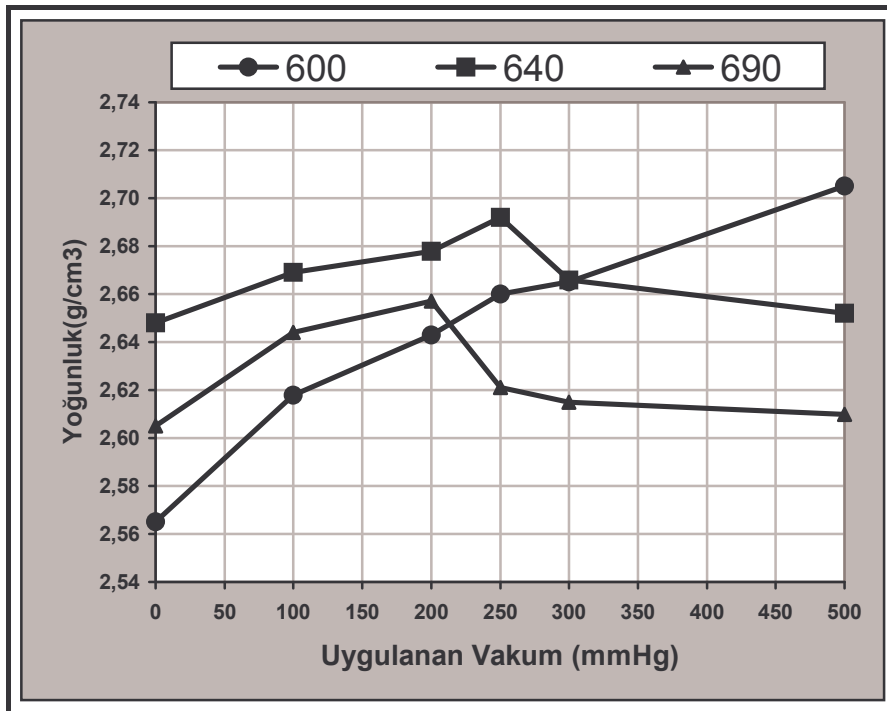
Geleneksel ve yerçekimine ters yaş kum kalıba döküm işlemleri sonucunda üretilen numunelerden elde edilen yoğunluk ve % gözenek oranları Çizelge 6.4, Şekil 6.10 ve Şekil 6.11'de verilmiştir.

Sonuçlar; genel olarak döküm sıcaklığındaki artışa bağlı olarak yoğunluğun azaldığını ve gözenek miktarının ise arttığını göstermektedir. Aynı zamanda, vakum miktarına bağlı olarak yoğunluk ve gözenek miktarlarının değişim gösterdiği görülmüştür. 600 °C sıcaklıkta döküm sonucunda geleneksel yöntemle üretilen numuneler arasında en düşük yoğunluk sonuçlarının elde edildiği görülmektedir. 600 °C'de geleneksel yöntemle yarı-katı yada katılaşmaya başlayan metalin dökülebilme zorlukları nedeniyle bu sonuç elde edilmiştir. Geleneksel yöntemle en iyi sonuca 640 °C sıcaklıkta döküm işlemi sonucunda ulaşılmıştır. Sıcaklığın 690 °C'ye yükseltilmesi ile yoğunluk tekrar azalmıştır.

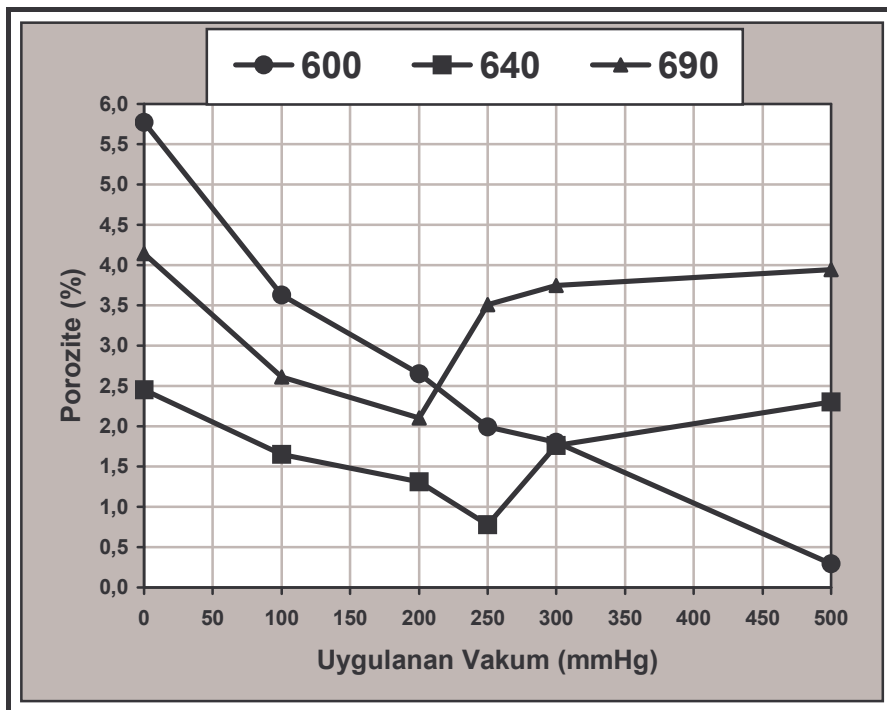
Çizelge 6.4. Döküm sıcaklığı ve basıncına bağlı olarak yoğunluk ve % gözenek miktarlarının değişimi

Numune	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	Gözenek (%)
1 (600 °C)	2,565	5,769
1a (100 mmHg-600 °C)	2,618	3,628
1b (200 mmHg-600 °C)	2,643	2,648
1c (250 mmHg-600 °C)	2,660	1,992
1d (300 mmHg-600 °C)	2,665	1,801
1e (500 mmHg-600 °C)	2,705	0,295
2 (640 °C)	2,648	2,454
2a (100 mmHg-640 °C)	2,669	1,648
2b (200 mmHg-640 °C)	2,678	1,306
2c (250 mmHg-640 °C)	2,692	0,780
2d (300 mmHg-640 °C)	2,666	1,762
2e (500 mmHg-640 °C)	2,652	2,300
3 (690 °C)	2,605	4,145
3a (100 mmHg-690 °C)	2,644	2,609
3b (200 mmHg-690 °C)	2,657	2,107
3c (250 mmHg-690 °C)	2,621	3,510
3d (300 mmHg-690 °C)	2,615	3,747
3e (500 mmHg-690 °C)	2,610	3,946
ETİAL – 171 döküm malzemesinin teorik yoğunluğu 2,7128 g/cm <sup>3</sup>		

Vakum uygulamasına bağlı olarak 600 °C sıcaklıkta döküm sonuçları incelendiğinde; vakum miktarındaki artışa paralel olarak yoğunlukta artış ve gözenek miktarında ise azalma görülmektedir. 640 °C döküm sıcaklığındaki döküm sonuçları incelendiğinde ise 250 mmHg vakuma kadar yoğunluğun arttığı, ancak daha yüksek vakumlarda tekrar yoğunluğun azaldığı görülmektedir. 690 °C’de elde edilen sonuçlar da benzer özellikler taşımakta, ancak bu sıcaklıkta en yüksek yoğunluk değerine 200 mmHg vakumda ulaşılmaktadır. Bu çalışmadaki en yüksek yoğunluk ve en düşük gözenek miktarları 600 °C sıcaklık ve 500 mmHg seviyesinde elde edilmiştir.



Şekil 6.10.Uygulanan vakum miktarı ve döküm sıcaklığına bağlı olarak yoğunluğun değişimi



Şekil 6.11.Uygulanan vakum miktarı ve döküm sıcaklığına bağlı olarak % gözenek miktarının değişimi

Sonuçlar 600 °C sıcaklıkta 500 mmHg vakum seviyelerinden daha yüksek vakum değerlerinde yoğunluk açısından daha iyi sonuçların elde edilebileceğini göstermektedir. Metal sıcaklığının çok düşük olması, metalin yarı-katı yada katılaşmaya çok yakın bir halde bulunması neme bağlı olarak meydana gelen gözenek miktarının azalmasına sebep olurken, metalin kalıba doldurulmasını güçleştirmektedir. Daha yüksek sıcaklıklarda ise yaş kum kalıpların bünyesindeki nem nedeniyle meydana gelen gazların olumsuzluklarından dolayı yüksek vakum seviyelerinde gözenek oluşumu artarken, yoğunluk ise azalmaktadır.

Ancak, 640 °C sıcaklıktaki döküm sonuçları yaş kum kalıplara bu alaşımın dökümü ile genel olarak en iyi sonuçların elde edildiğini göstermektedir. Yoğunluğun arttığı şartlarda, gözenek miktarı azalmaktadır. Yoğunluk ve gözenek sonuçları mekanik özellikler ile birlikte değerlendirildiğinde yoğunluğun arttığı şartlarda özelliklerinde iyileştiği açıkça görülmektedir (Çizelge 6.1).

Diğer yandan farklı bir malzemedeki nüve yapıp, özel olarak hazırlanan kalıp (Şekil 5.20) ile geleneksel ve 100 ve 500 mmHg vakum seviyelerinde 670 °C sıcaklıkta döküm sonucunda elde edilen yoğunluk değerleri Çizelge 6.5'te verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde Çizelge 6.4'te yaş kum kalıpta üretilen numunelerin yoğunluk değerlerine kıyasla daha iyi özelliklerin elde edildiği görülmektedir. Vakum kullanımı ile geleneksel yöntem sonuçlarına kıyasla yoğunluk artmakta, gözenek miktarı ise azalmıştır. Aynı zamanda daha önceki sonuçlarda (Çizelge 6.4) görülen vakum miktarındaki artış ile yoğunluğun azalması ve % gözeneknin artması bu sonuçlarda (Çizelge 6.5) görülmemiştir. Bu sonuçlar deneylerde elde edilen olumsuz sonuçların yukarıda ifade edilen yaş kum kalıptaki nemden kaynaklandığı görüşünü açıklamaktadır.

Çizelge 6.5.Özel kalıpla üretilen numunelerden elde edilen yoğunluk ve gözenek ölçüm sonuçları

İşlem	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	Gözenek (%)
Geleneksel	2,661	1,916
100 mmHg	2,698	0,519
500 mmHg	2,710	0,073

#### 6.4. Sağlam Döküm Parça Üretiminde Besleme ve Besleyici İhtiyacı ile İlgili Olarak Geleneksel ve Yerçekimine Ters Yaş Kum Kalıba Döküm Yöntemlerinin Değerlendirilmesi

Sağlam döküm parça üretimi, döküm işlemlerinin temel amacını oluşturmaktadır. Bu nedenle hangi döküm yöntemi olursa olsun üretilen parçaların her açıdan sağlam yada diğer bir ifade ile amaca uygun olması istenir. Bu amaçlarla bir çok teknikler, metalurjik işlemler ve malzemeler kullanılmaktadır. Bunlardan birisi de; burada olduğu gibi döküm işlemlerinde vakum uygulanmasıdır.

Sağlam döküm parça üretiminde önemli göstergelerden birisi de; çekme boşluğu bulunmayan döküm parçaların üretilmesidir. Genel olarak ısınan malzemeler genişlerken hacimce büyürler. Sıcaklığın azalması ile de aynı malzemeler büzülerek hacimce küçülürler. Sıcaklıkla birlikte malzemelerin hacimce büyüme yada küçülme oranları o malzemelerin genişleme ve büzülme miktarları ile ilişkilidir. Ancak sıcaklığın artması, metal atomları arasındaki mesafenin de artmasına yol açtığından metalin kapladığı hacimde artış meydana gelmektedir. Bu durum yüksek sıcaklıklarda dökülen metal ve alaşımların kalıp içersinde katılaşma sürecinde daha fazla büzülmesi anlamına gelmektedir. Büzülmenin fazla olması katılaşma sırasında döküm parçalarda çekme miktarının artmasına yol açmaktadır.

Döküm parçaların üretimi sırasında özellikle kalın kesitli parçalarda katılaşma çekmesinin karşılanması yada diğer bir ifadeyle katılaşma sırasında

büzülerek metalin boşalttığı yerlerin doldurularak sağlam parçaların üretilebilmesi amacıyla besleyiciler kullanılmaktadır. Döküm parça kesit kalınlığındaki artış sonucunda soğuma hızı azalmaktadır. Döküm sıcaklığının artması da aynı sonucu meydana getirmektedir. Bu sebeple besleyici ve besleme ihtiyacının azaltılması amacıyla kesit kalınlığı ve döküm sıcaklığının azaltılması sıklıkla uygulanan teknikler olarak görülmektedir. Yerçekimine ters döküm yöntemi ile çok düşük döküm sıcaklıklarında üretim yapılabilmesi nedeniyle bu bakımdan önemli yararlar sağlayacağı düşünülmektedir. Basınç yardımıyla metalin kalıba sıkıştırılarak doldurulmasının da besleme ihtiyacının azaltılmasında önem taşıdığı göz önüne alındığında, yöntemin avantaja sahip olduğu düşünülmektedir.

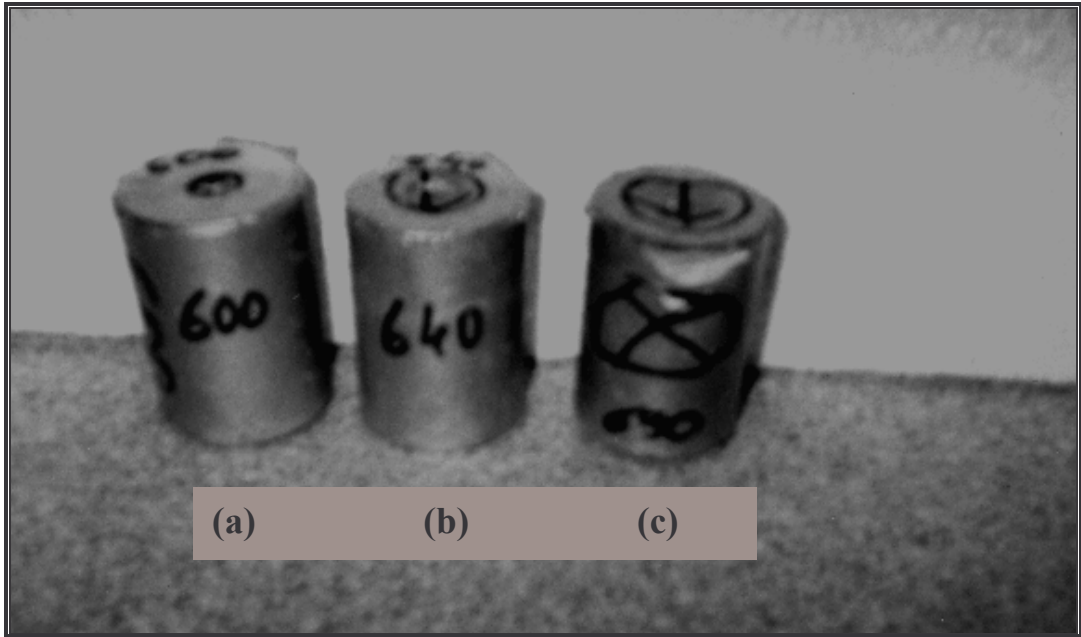
Bu konudaki yayınlarda yapılan çalışmaya benzer çalışmaların olmaması önemli bir eksiklik oluşturmaktadır. Ancak besleme ile ilgili olarak basınçlı döküm konularındaki çalışmalardan [42,56,59] yola çıkılacak olursa; basıncın avantaj sağladığı görülmektedir. Bu çalışmaların temel noktasını; çekme oluşan bölgelerin sıvı metal ile doldurulması sırasında basıncın etkilerinin gösterilemeye çalışılması oluşturmaktadır. Çalışmaların neticesinde, geleneksel döküm yöntemlerine oranla basınç uygulanan dökümlerde çekmenin neden olduğu gözeneklerin azaldığı, hatta önlenemediği görülmektedir. Bu yayınlardaki kullanılan vakum uygulamalarıyla, mevcut çalışmada kullanılan basınç (vakum) uygulaması arasında farklılıklar bulunması nedeniyle tam olarak sonuçlar üzerinde kıyaslama yapılabilmesi zorlaşmaktadır.

Besleme ihtiyacının belirlenebilmesi amacıyla üretilen numuneler kesilmeden önce elde edilen görüntüler Resim 6.5 – Resim 6.8’de, merkezlerinden boyuna kesilmiş görüntüleri ise Resim 6.9 – Resim 6.15’te verilmektedir. Kalın kesitli parçalarda çekme görüntüleri genellikle üst kısımdan çökme ve iç kısımlarda parça merkezi boyunca gözenekler şeklinde olmaktadır. Bu parçaların kalın kesitli parçalar olması nedeniyle numuneler merkezlerinden numune boyu yönünde kesilmişlerdir. Sonuçlar incelendiğinde; döküm

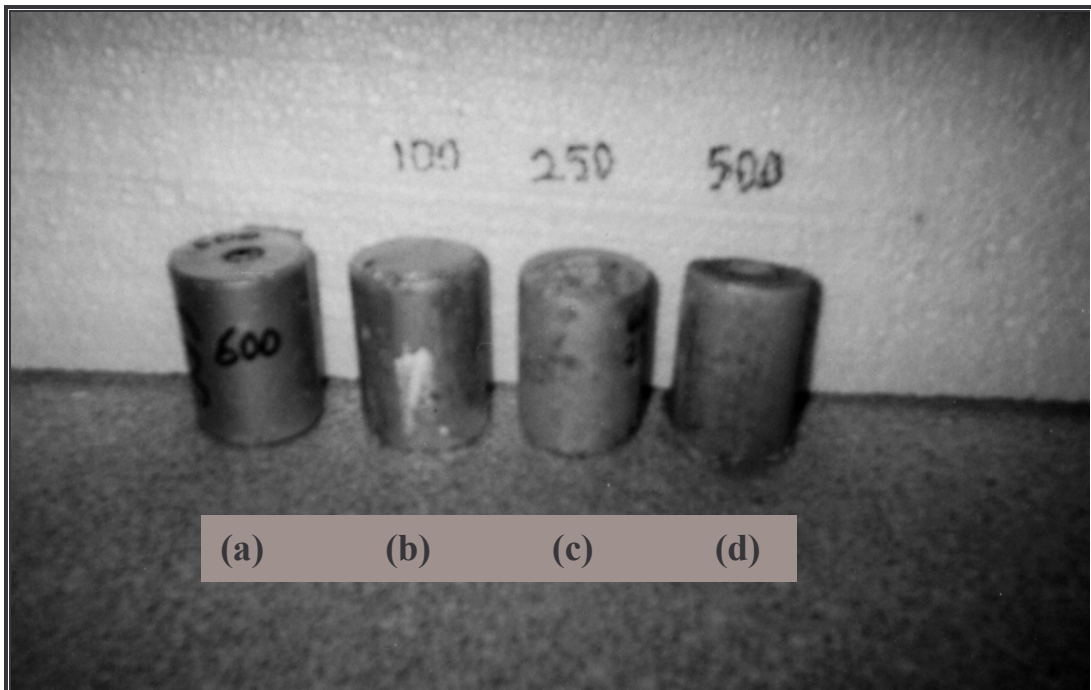
sıcaklığının 600 °C'den 690 °C'ye artışına bağlı olarak çekme boşluklarının arttığı ve buna bağlı olarak besleyici ihtiyacının bulunduğu görülmektedir. Ancak döküm sıcaklığının azalması ile oluşan boşlukların boyutlarında azalma olduğu görülmektedir.

Yerçekimine ters döküm yöntemi ile üretilen numunelere bakıldığında geleneksel yöntemde olduğu gibi döküm sıcaklığındaki azalma ile birlikte besleme ihtiyacının azaldığı ve buna bağlı olarak çekme miktarının da azaldığı tespit edilmiştir. İlaveten 600 °C döküm sıcaklığında üretilen numunelerde çekme boşluklarının bulunmadığı görülmüştür. Bu yöntemde sıcaklıktaki düşüşün yanında, uygulanan vakuma bağlı olarak besleme ihtiyacının giderildiği tespit edilmiştir. Çünkü; aynı sıcaklıkta, ancak farklı vakum miktarlarında üretilen numuneler incelendiğinde artan vakuma bağlı olarak çekme boşluklarının miktarı azalmaktadır.

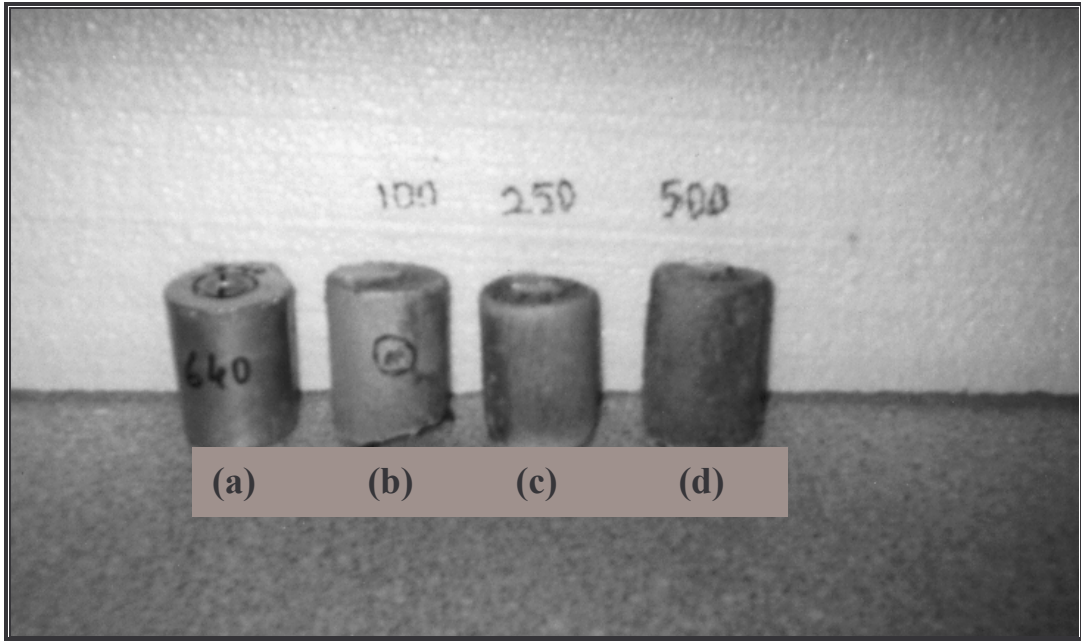
Bu sonuçlar; yerçekimine ters döküm yöntemi ile çok düşük sıcaklıklarda ve uygulanan vakum yardımıyla geleneksel dökümde meydana gelebilen çekme boşluklarının giderilerek sağlam döküm parça üretiminin sağlanabileceğini ortaya koymaktadır. Döküm sıcaklığına bağlı olarak geleneksel yöntemde en düşük çekme miktarının 600 °C sıcaklıkta döküm sonucunda elde edilebildiği görülmektedir (Resim 6.5). Dıştan görünüme bakıldığında düşük sıcaklıkta üst kısımda küçük miktarda çökme şeklinde çekme boşluğu görülürken, sıcaklığın artmasına bağlı olarak boşluk miktarı artmakta ve hatta 690 °C sıcaklıkta orta yan kısımda da boşluğun meydana geldiği görülmektedir. Bu sonuçlar sıcaklıktaki artışa paralel olarak çekme miktarının arttığını göstermektedir.



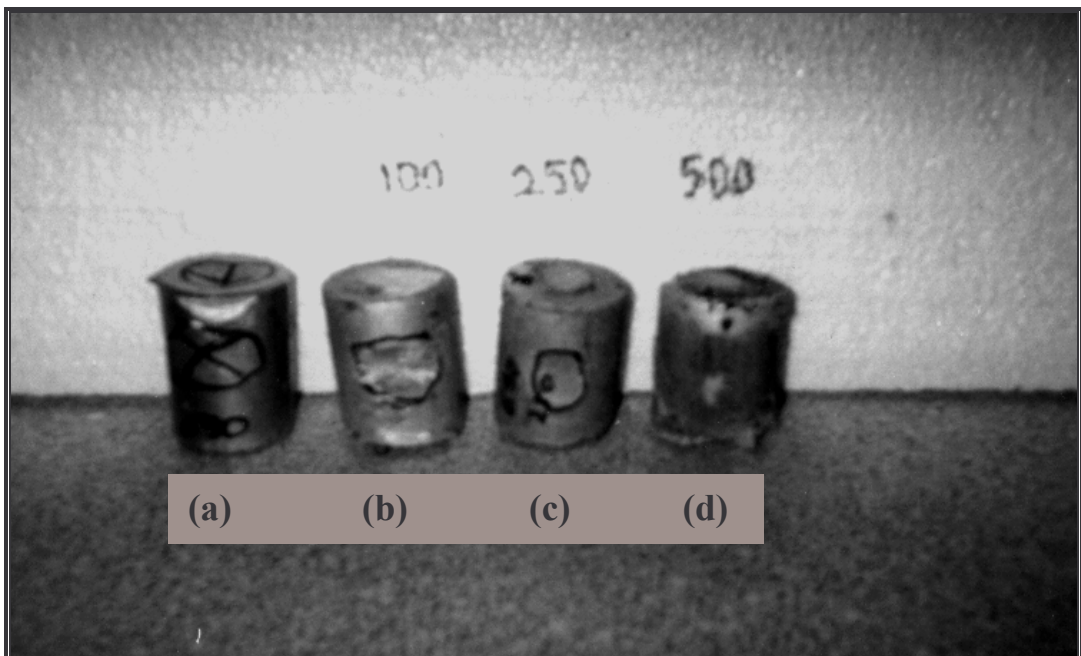
Resim 6.5. Geleneksel yöntemle üretilen besleyici ihtiyacını gösteren numunelerin çekme oluşan bölgelerinin numunenin dışından gösterilmesi, a) 600 °C, b) 640 °C ve c) 690 °C sıcaklıklarda



Resim 6.6. 600 °C döküm sıcaklığında üretilen besleme ihtiyacının belirlenebilmesi için üretilen numunelerin kesilmemiş haldeki görünümleri, a) geleneksel döküm, b) 100 mmHg, c) 250 mmHg ve d) 500 mmHg vakum şartlarında yerçekimine ters döküm



Resim 6.7. 640 °C döküm sıcaklığında üretilen besleme ihtiyacının belirlenebilmesi için üretilen numunelerin kesilmemiş haldeki görünümleri, a) geleneksel döküm, b) 100 mmHg, c) 250 mmHg ve d) 500 mmHg vakum şartlarında yerçekimine ters döküm



Resim 6.8. 690 °C döküm sıcaklığında üretilen besleme ihtiyacının belirlenebilmesi için üretilen numunelerin kesilmemiş haldeki görünümleri, a) geleneksel döküm, b) 100 mmHg, c) 250 mmHg ve d) 500 mmHg vakum şartlarında yerçekimine ters döküm

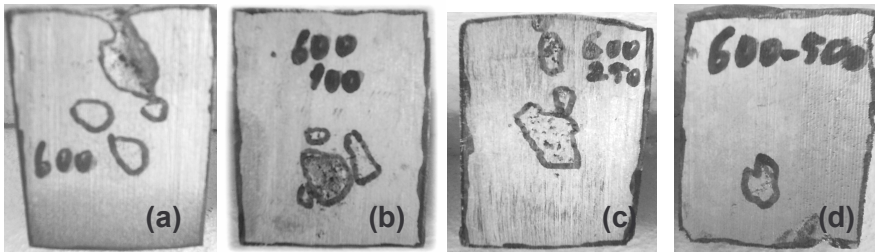
Vakum uygulaması sonucunda; geleneksel yöntemle kıyasla çekme boşluğu oluşumu ve miktarı azalmaktadır. Vakum miktarının artırılması sonucunda 600 °C'de dış kısımda çekme görülmemekte, diğer sıcaklıklarda ise geleneksel yöntemle göre daha az çekme görülmektedir. 600 °C sıcaklıkta döküm sonuçları incelendiğinde; geleneksel yöntemle üretilen sonuçta yüzeyde çekme görülürken, tüm uygulanan vakum seviyelerinde çekme oluşumu görülmemektedir (Resim 6.6). 640 °C'de ise 100 mmHg vakumda çekme bulunmasına rağmen, geleneksel yöntemle sonucunda oluşan çekme miktarına göre daha az oluşmuştur. Ancak diğer vakum seviyelerinde hiç çekme görülmemektedir (Resim 6.7). 690 °C sıcaklıkta döküm sonucunda hem geleneksel, hem de 100 ve 250 mmHg vakum seviyelerinde yüzeyde çekme meydana gelirken, 500 mmHg vakumda ise çekme görülmemektedir. Ancak 100 ve 250 mmHg vakum seviyelerinde meydana gelen boşlukların geleneksel yöntemdeki boşluklara kıyasla daha küçük yada az olduğu görülmektedir (Resim 6.8). Sonuçlar döküm sıcaklığındaki azalma ve genelde tüm vakum uygulamaları sonucunda çekme miktarının azaltılabildiğini göstermiştir.

Çekme oluşumunun sadece parça yüzeylerinde olmayıp, özellikle kalın kesitli parçalarda iç kısımda merkez bölgelerde oluşabildiği unutulmamalıdır. Bu amaçla üretilen numuneler dikey orta kısımlarından kesilerek iç kısımlarda meydana gelebilecek çekme boşlukları incelenmiştir. Farklı numunelerin birlikte değerlendirmesini sağlamak amacıyla farklı sıcaklık için elde edilen görüntüler Resim 6.9 – Resim 6.11'de, farklı vakum değerleri için elde edilen görüntüler Resim 6.12 – Resim 6.15'te verilmektedir.

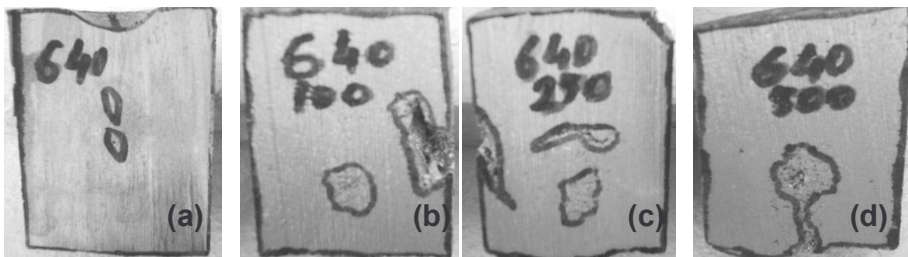
600 °C sıcaklıkta döküm sonucunda üretilen numunelere bakıldığında (Resim 6.9) geleneksel yöntemde üst kısımda boşluk ve çökme şeklinde çekme görülürken, vakum uygulaması sonucunda çekme miktarının çok az miktarda ve gözenekler şeklinde oluştuğu görülmektedir. İlave olarak vakum

miktarındaki artış (500 mmHg) ile gözenek miktarının yok denilecek kadar azaltılabildiği görülmüştür.

Resim 6.10'da ise 640 °C sıcaklıkta döküm sonucunda meydana gelen çekme görüntüleri ve miktarları gösterilmektedir. Geleneksel döküm sonucunda üst kısımda çökme ve orta kısımda geniş bir alanda gözenek şeklinde çekme olduğu görülmektedir. Vakum uygulaması ile çekme şekli ve miktarı değişmektedir. Düşük vakum seviyelerinde (100 mmHg) kenar kısımda boşluk ve iç kısımda gözenek şeklinde çekme meydana gelirken, vakum miktarının artmasıyla boşluk yerine daha çok iç kısımda gözenek biçiminde çekme olduğu görülmektedir. Ancak vakum miktarındaki artışa (250 ve 500 mmHg) bağlı olarak çekme miktarının geleneksel yöntemle göre azaldığı açıkça görülmektedir.



Resim 6.9. 600 °C döküm sıcaklığında üretilen numunelerin besleme ihtiyacının belirlenebilmesi için kesilmiş haldeki görünüşleri, a) geleneksel döküm, b)100 mmHg, c) 250 mmHg ve d) 500 mmHg vakum şartlarında yerçekimine ters döküm

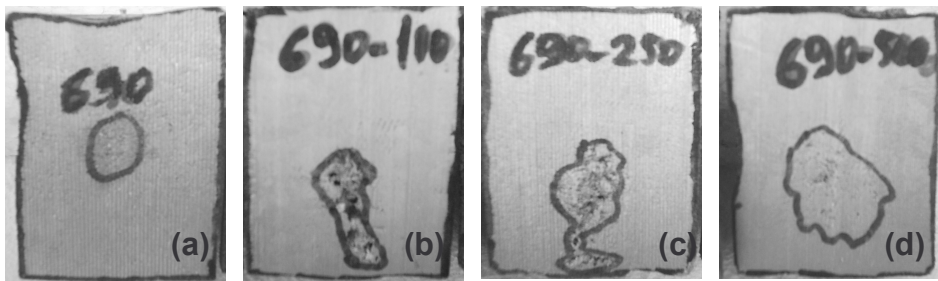


Resim 6.10. 640 °C döküm sıcaklığında üretilen numunelerin besleme ihtiyacının belirlenebilmesi için kesilmiş haldeki görünüşleri, a) geleneksel döküm, b)100 mmHg, c) 250 mmHg ve d) 500 mmHg vakum şartlarında yerçekimine ters döküm

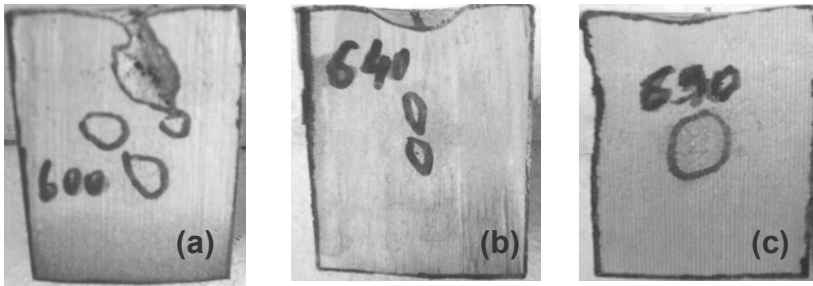
690 °C sıcaklıkta üretilen numunelere bakıldığında ise 640 °C'de meydana gelen sonuçlara benzer sonuçların olduğu, ancak çekme miktarının daha yüksek olduğu görülmüştür. 690 °C'de iç kısımlarda meydana gelen çekme görüntüleri daha çok boşluk biçimindedir. Bu sıcaklıkta da diğer sıcaklık şartlarında olduğu gibi vakum uygulaması sonucunda çekme miktarının azaldığı tespit edilmiştir.

690 °C sıcaklıkta diğer döküm sıcaklıklarından farklı olarak vakum miktarının artırılmasına rağmen numunenin üst ve yan kısımlarında bulunan çökme şeklindeki çekme görüntüleri giderilememiştir. Ancak, bu çökmenin vakum miktarındaki artışla birlikte meme bağlantısının bulunduğu numunenin alt kısmına doğru kaydığı görülmektedir (Resim 6.8 ve Resim 6.11). Elde edilen bu sonucun yüksek vakum seviyelerinde katılaşma hızının artmasına bağlı olduğu düşünülmektedir.

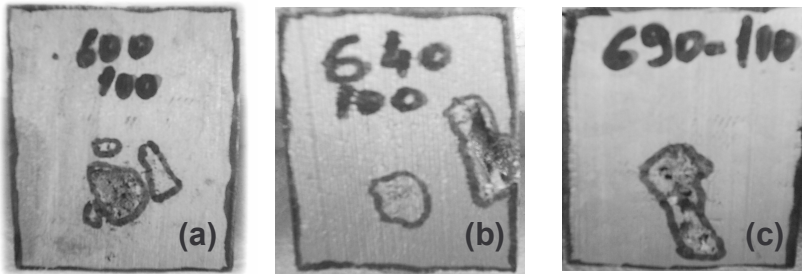
Resim 6.12 incelendiğinde; döküm sıcaklığındaki azalmaya bağlı olarak geleneksel yöntemde çekme miktarının azaldığı görülmektedir. Aynı vakum seviyelerinde döküm sonucunda sıcaklığın azalmasıyla çekme oluşumu ve miktarının azaldığı görülmektedir (Resim 6.5 – Resim 6.15). Vakum seviyeleri aynı olan numunelerde en iyi sonuçların 600 °C sıcaklıkta dökümle elde edildiği ve besleme ihtiyacının hemen hemen yok edilebildiği görülmüştür.



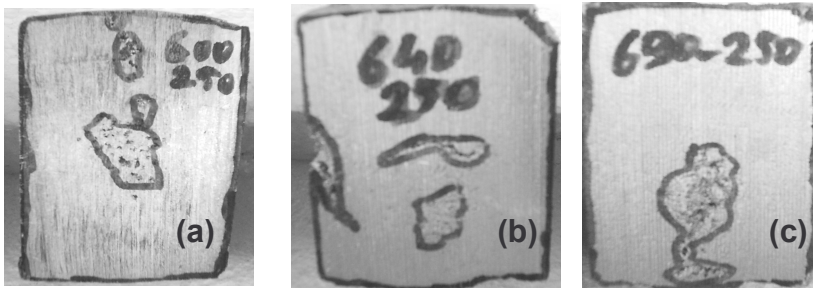
Resim 6.11. 690 °C döküm sıcaklığında üretilen numunelerin besleme ihtiyacının belirlenebilmesi için kesilmiş haldeki görüntüleri, a) geleneksel döküm, b)100 mmHg, c) 250 mmHg ve d) 500 mmHg vakum şartlarında yere çekimine ters döküm



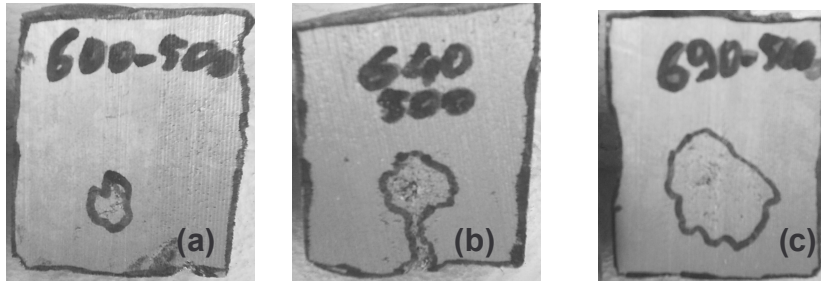
Resim 6.12. Farklı döküm sıcaklıklarında geleneksel yöntem ile üretilen numunelerin kesilerek çekme oluşan bölgelerinin gösterimi, a) 600 °C, b) 640 °C ve c) 690 °C



Resim 6.13. 100 mmHg basınç ve farklı döküm sıcaklıklarında üretilen numunelerin kesilerek çekme oluşan bölgelerinin gösterimi, a) 600 °C, b) 640 °C ve c) 690 °C



Resim 6.14. 250 mmHg basınç ve farklı döküm sıcaklıklarında üretilen numunelerin kesilerek çekme oluşan bölgelerinin gösterimi, a) 600 °C, b) 640 °C ve c) 690 °C



Resim 6.15. 500 mmHg basınç ve farklı döküm sıcaklıklarında üretilen numunelerin kesilerek çekme oluşan bölgelerinin gösterimi, a) 600 °C, b) 640 °C ve c) 690 °C

### 6.5. Dökülebilirlik Bakımından Geleneksel ve Yerçekimine Ters Yaş Kum Kalıba Döküm Yöntemlerinin Değerlendirilmesi

Dökülebilirlik terimi bu çalışmada; yaygın olarak bilinen akıcılıktan farklı olarak metal bileşimi, döküm sıcaklığı, katılaşma şekli, döküm yapılan kalıp cinsi ve özellikleri, uygulanan döküm metodu gibi faktörlere bağlı olarak sıvı metal kalıbı doldurma ölçüsünün karşılığı olarak kullanılmıştır. Dökülebilirlik bakımından geleneksel ve yerçekimine ters yaş kum kalıpların incelenmesi amacıyla 600 °C, 640 °C ve 690 °C döküm sıcaklıkları ve 100 mmHg, 250 mmHg ve 500 mmHg vakum değerleri seçilmiş ve kademeli blok model numuneleri üretilmiştir.

Üç farklı sıcaklık ve vakum değerlerinde kademeli blok model dökülebilirlik tespiti modelinin yaş kum kalıplarda hazırlanması ve döküm işlemlerinin yapılması sonucunda üretilen numunelerin görüntüleri Resim 6.16 – Resim 6.22'de verilmiştir. Her bir sıcaklıkta üretilen geleneksel ve yerçekimine ters döküm numuneler aynı şekil içerisinde verilmiştir (Resim 6.16 – Resim 6.18). Bu sunuş şekli ile aynı döküm sıcaklığında elde edilen sonuçların değerlendirilmesinde kolaylık sağlayacağı düşünülmüştür. Aynı zamanda Resim 6.19 – Resim 6.22'de ise farklı sıcaklık ve aynı vakum miktarlarında üretilen numuneler verilerek sıcaklığın etkisi gösterilmeye çalışılmıştır. Bütün resimlerde en solda bulunan koyu renkli görüntü kalıplamalarda kullanılan kademeli modelidir.

Dökülen parçalar üzerinde dökülebilirlik miktarının kolaylıkla anlaşılabilmesi amacıyla harfler bulunmaktadır. Bu harflerden A en kalın kesiti (12 mm) ifade ederken, D ise en ince kesiti (1.5 mm) temsil etmektedir.

Resimler incelendiğinde aynı döküm sıcaklığında üretilen geleneksel ve yerçekimine ters döküm numunelerin dökülebilirliklerinin değiştiği görülmektedir. Vakum uygulaması sonucu dökülebilirliğin benzer sıcaklık şartlarındaki geleneksel yöntemle kıyasla arttığı tespit edilmiştir. Vakum miktarlarının etkileri bakımından değerlendirme yapıldığında ise vakum miktarındaki artışa bağlı olarak dökülebilirliğin geliştiği görülmektedir.

Döküm sıcaklığındaki değişime bağlı olarak dökülebilirliğin değişimi incelendiğinde hem geleneksel hem de yerçekimine ters döküm uygulamalarında sıcaklıktaki artışa bağlı olarak dökülebilirliğin arttığı görülmektedir. Yüksek döküm sıcaklığında kademeli bloktaki mevcut en ince basamağa (D) kadar sıvı metal ulaşabilirken, düşük döküm sıcaklığında ise en kalın ikinci kademenin (B) yaklaşık yarısına kadar sıvı metalin ulaşabildiği tespit edilmiştir.

Bu konudaki çalışmalar [1,4-6,14,29] incelendiğinde; yapılan denemelerin kullanılan metalin ergime sıcaklığından çok daha yüksek (100 °C ve daha yüksek) sıcaklıklarda yapıldığı görülmektedir. Oysa bu çalışmada kullanılan Al-%10 Si malzemesinin ergime sıcaklığının denge diyagramına bakıldığında (Şekil 6.4) yaklaşık 600 °C olmasına karşın en yüksek döküm sıcaklığı olarak 690 °C kullanılmıştır (Bölüm 6.2.1, Şekil 6.4). Burada yöntemin çok düşük döküm sıcaklıklarında dahi uygulanabilmesi açısından etkilerinin belirlenebilmesi amaçlanmıştır. Bu çalışmada kullanılan en yüksek sıcaklık, bu konuda yapılan ve yukarıda ifade edilen çalışmalardaki en düşük sıcaklıklardan daha düşük seviyededir. Elde edilen sonuçlar; önceki çalışmalar ile kıyaslandığında çok düşük döküm sıcaklıklarına rağmen çok iyi sonuçların elde edildiği görülmektedir.

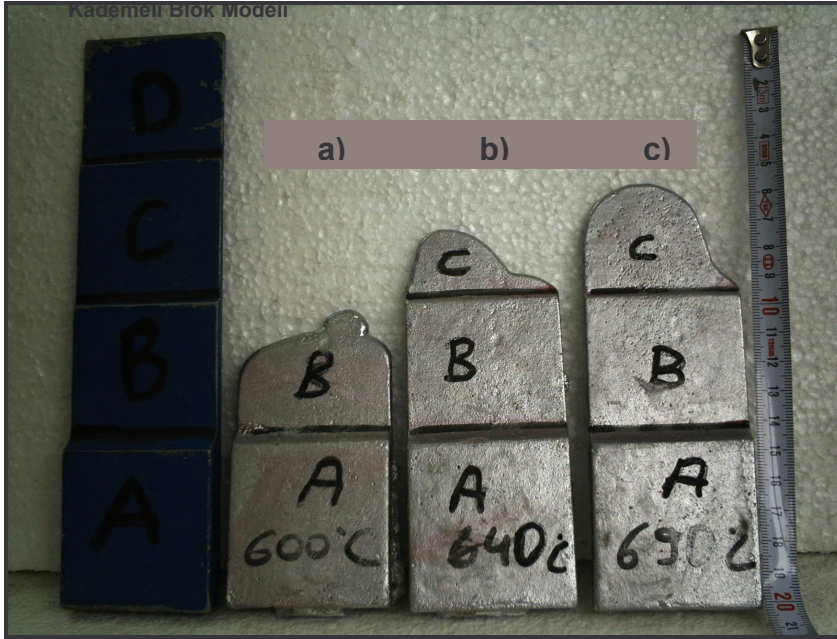
Yüksek döküm sıcaklıkları ile çalışma sonucunda meydana gelen önemli problemlerden bir kısmı; sıvı metal ile kalıp ara yüzeyinin etkileşmesi sonucu döküm parça yüzey pürüzlülüğü, gaz oluşumunda artış, yaş kum kalıplarda kum erozyonu ve sürüklenmesinin meydana gelmesi olarak sayılabilir. Bu sebeple; yüksek döküm sıcaklıklarının dökülebilirliği artırmasına rağmen döküm işlemlerinde ifade edilen yüksek sıcaklıktan kaynaklanan olumsuzluklar sebebiyle mümkün olan en düşük sıcaklıklar tercih edilmektedir. Yapılan çalışmalar sırasında bu durumlar açıkça gözlenmiştir. Yüksek döküm sıcaklıklarında, numune yüzey pürüzlülüğü önemli oranda artmıştır. Yaş kum kalıba yerçekimine ters döküm işlemlerinde hem düşük döküm sıcaklıklarının hem de düşük vakum miktarlarının kullanılması avantaj sağladığı görülmüştür. Düşük vakum miktarları ve döküm sıcaklıklarının kullanılması ile daha temiz yüzeyli parça üretimi mümkün olmuştur.

Yüksek vakum değerlerinde yüzey pürüzlülüğündeki artışın; sıvı metalin kalıp içerisine emilmesi sırasında hava (gaz) geçirgenliği yüksek olan yaş kum kalıp malzemesinden kaynaklandığı görülmüştür. Kalıp üzerine vakum uygulandığında; ortamın havasının hem kalıp boşluğu hem de kalıp içerisinden emilmesi nedeniyle, sıvı metalin kalıp yüzeyine kuvvetli bir biçimde çekilmesi sonucu pürüzlülük artmaktadır. Öyle ki vakum etkisiyle sıvı metal kalıp duvarına kısmen nüfuz da edebilmektedir. Bu durum yüksek döküm sıcaklıklarında daha net görülmektedir. Bu tür problemlerin çözümü için; metal, alçı, sentetik reçineli kum kalıp, v.s. döküm kalıp malzemelerinin kullanılması ile bu olumsuzlukların giderilebileceği düşünülmektedir. Yaş kum kalıplar söz konusu olduğunda ise; kalıp yüzeylerinin boyanması bu tür problemlerin çözümünde yararlı olacaktır.

Sonuçlar döküm sıcaklığının değişimine bağlı olarak değerlendirildiğinde; artan döküm sıcaklığı ile dökülebilirliğin arttığını göstermektedir (Resim 6.16). Her sıcaklıkta vakum uygulaması sonucunda dökülebilirlik geleneksel yöntemle göre artmıştır (Resim 6.17 – Resim 6.19). Farklı sıcaklık ve aynı vakum seviyelerinde ise, döküm sıcaklığındaki artış sonucunda dökülebilirlik

gelişmiştir. Ancak 690 °C sıcaklık ve vakum ile döküm sonucunda sıvı metalin kuma nüfuzu nedeniyle hemen hemen tüm numune yüzeyleri pürüzlü olurken, 600 °C'de hiçbir numunede pürüzlülük meydana gelmemiştir. 640 °C sıcaklıkta ise, 500 mmHg vakum seviyesinde numune yüzeylerinde kısmen pürüzlülük oluşmuştur.

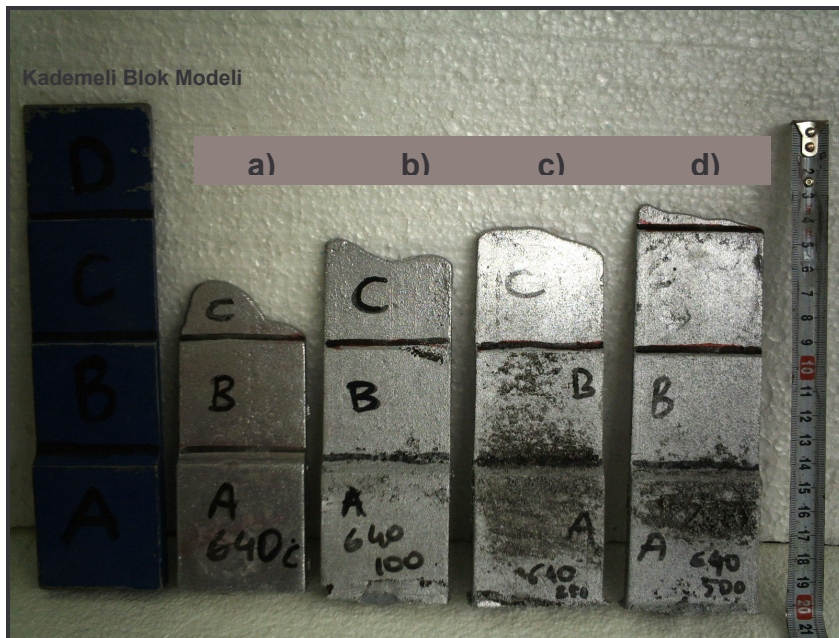
Genel olarak; 640 °C sıcaklık, 250 ve 500 mmHg vakum seviyelerinde yapılan yerçekimine ters yaş kum kalıba döküm işlem sonuçlarının hem dökülebilirlik, hem de yüzey kalitesi açısından en uygun olduğu görülmüştür.



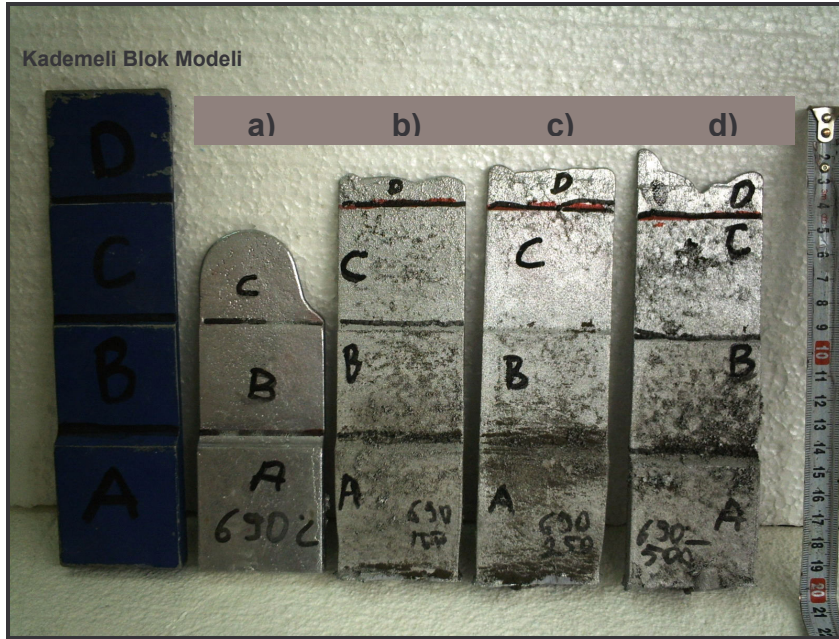
Resim 6.16. Kademeli blok modeli kullanılarak geleneksel yöntemle üretilen dökülebilirlik numunelerinin görüntüleri, a) 600 °C, b) 640 °C ve c) 690 °C döküm sıcaklıklarında



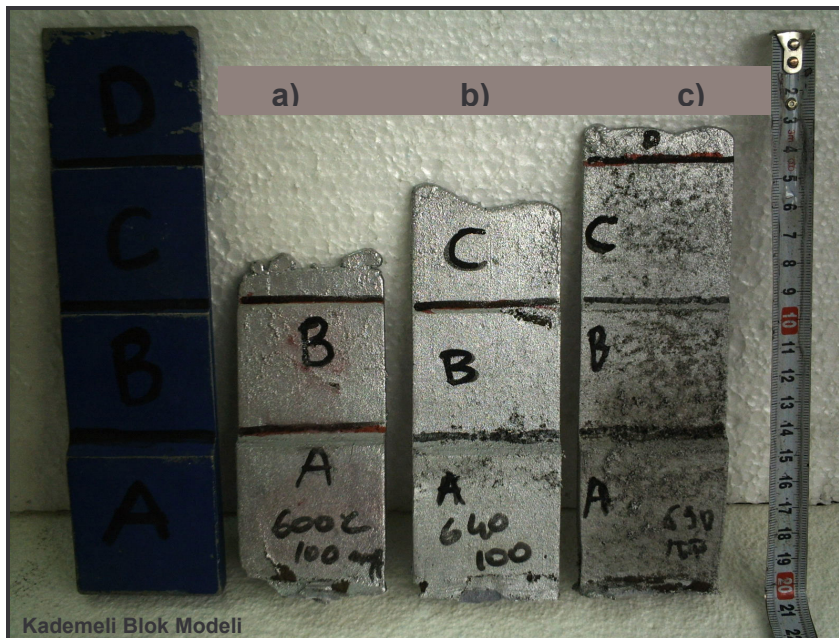
Resim 6.17. Kademeli blok modeli kullanılarak 600 °C döküm sıcaklığında üretilen dökülebilirlik numunelerinin görüntüleri, a) geleneksel döküm, b) 100 mmHg, c) 250 mmHg ve d) 500 mmHg vakum miktarlarında yerçekimine ters döküm



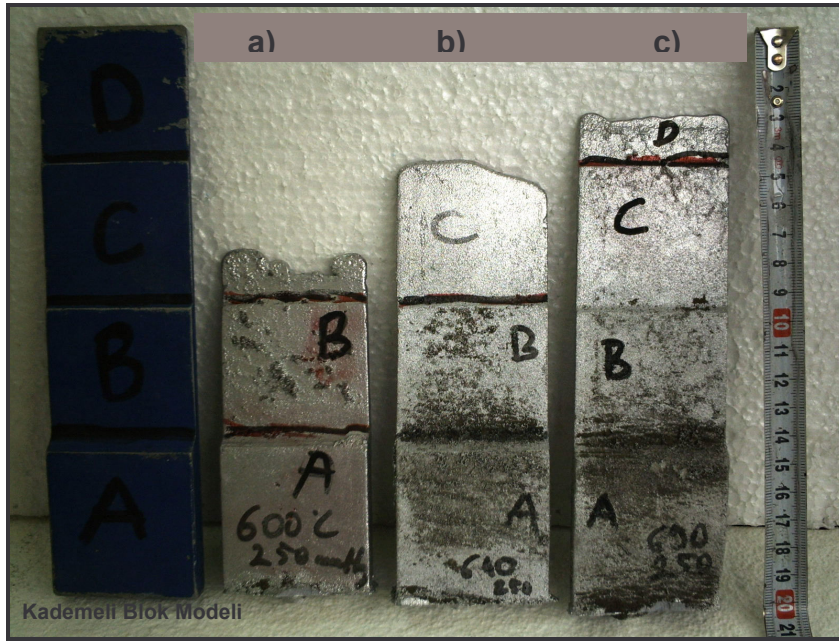
Resim 6.18. Kademeli blok modeli kullanılarak 640 °C döküm sıcaklığında üretilen dökülebilirlik numunelerinin görüntüleri, a) geleneksel döküm, b) 100 mmHg, c) 250 mmHg ve d) 500 mmHg vakum miktarlarında yerçekimine ters döküm



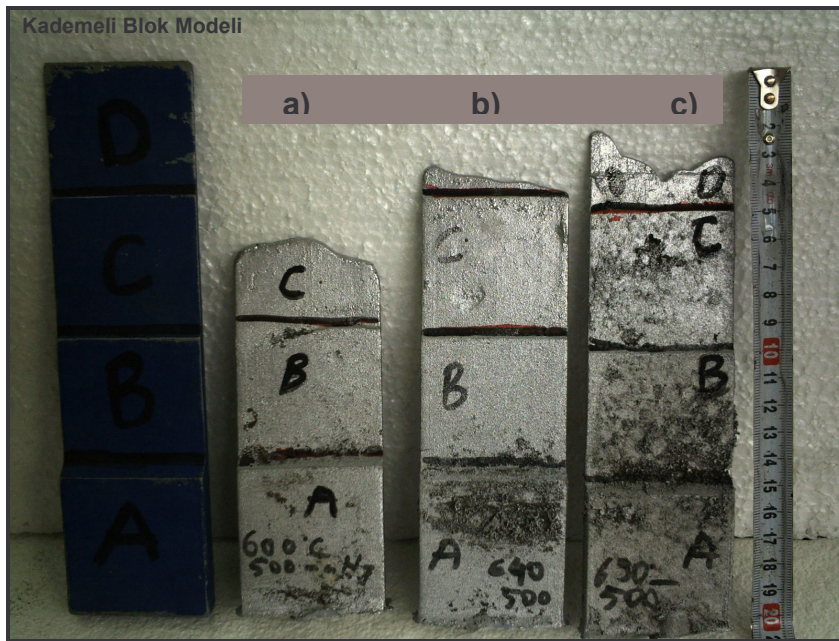
Resim 6.19. Kademeli blok modeli kullanılarak 690 °C döküm sıcaklığında üretilen dökülebilirlik numunelerinin görüntüleri, a) geleneksel döküm, b) 100 mmHg, c) 250 mmHg ve d) 500 mmHg vakum miktarlarında yerçekimine ters döküm



Resim 6.20. 100 mmHg vakum ve farklı döküm sıcaklıklarında üretilen dökülebilirlik numunelerinin görüntüleri, döküm sıcaklıkları a) 600 °C, b) 640 °C ve c) 690 °C



Resim 6.21. 250 mmHg vakum ve farklı döküm sıcaklıklarında üretilen dökülebilirlik numunelerinin görüntüleri, döküm sıcaklıkları a) 600 °C, b) 640 °C ve c) 690 °C



Resim 6.22. 500 mmHg vakum ve farklı döküm sıcaklıklarında üretilen dökülebilirlik numunelerinin görüntüleri, döküm sıcaklıkları a) 600 °C, b) 640 °C ve c) 690 °C

## **6.6. Çeşitli Kriterler Açısından Geleneksel ve Yerçekimine Ters Yaş Kum Kalıba Döküm Yöntemlerinin Değerlendirilmesi**

Yapılan bu çalışmada; elde edilen genel sonuçların değerlendirilmesinin çeşitli açılardan yapılması da mümkündür. Bu değerlendirmelerden bazıları da çeşitli kriterler olarak ifade edilebilecek olan; kalıplama işlemleri, yolluk sistemi ve özellikleri ve işlemin uygulanabilirliği gibi konular açısından değerlendirmelerin yapılması gereklidir.

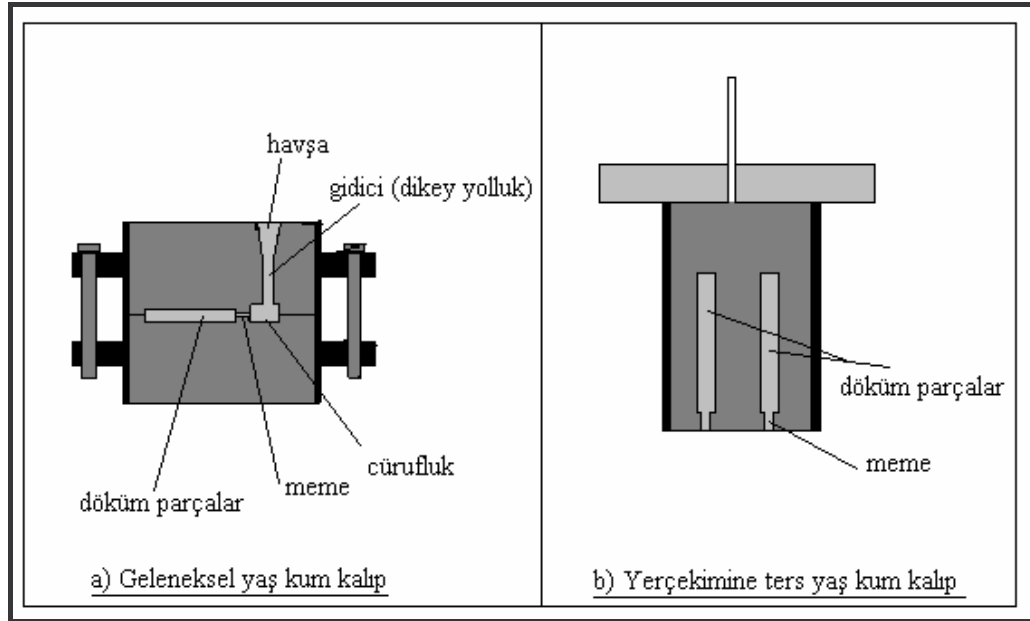
### **6.6.1. Kalıplama işlemleri bakımından karşılaştırma**

Yerçekimine ters döküm işlemleri için, yaş kum kalıpların hazırlanması geleneksel yöntemde yaş kum kalıpların hazırlanması ile karşılaştırıldığında aralarında fazla bir fark bulunmamaktadır. Diğer yandan bu yöntemde kullanılan kalıpların hazırlanması; yöntemin kendi özel şartları açısından karmaşık yolluk sistemi gerektirmemesi nedeniyle daha basit olarak görülmektedir. Çünkü kalıp hazırlaması sırasında yolluk sistemi yapılan döküm işlemlerini büyük oranda etkilemektedir. Basit şekilli döküm parça ve az sayıda bileşenden (gidici, cürufluk, havşa v.s.) oluşan kalıplama işlemleri daha kolay uygulanabilmektedir.

Şekil 6.12'de geleneksel ve yerçekimine ters döküm işlemlerinde kullanılmak üzere aynı döküm parça için hazırlanmış kalıpların şematik görünümü verilmektedir. Şekil, iki yöntem arasındaki kalıp dizaynı açısından farkların görülmesinde fayda sağlayacaktır.

Geleneksel yöntemde yolluk sisteminin genellikle sıvı metalin kalıba giriş kısmı olan havşa, dikey yolluk (gidici), yatay yolluk (cürufluk) ve kalıp boşluğuna son bağlantı olan memelerden meydana gelen çok sayıda bileşenden oluşması gerekmektedir. Ancak yerçekimine ters döküm yönteminde kalıbın alt kısmından döküm parçaya sıvı metalin girişini sağlayan meme bağlantısı dışında herhangi bir yolluk sistemi bileşenine

ihtiyaç bulunmamaktadır. Bu durum yöntemin en önemli avantajlarından birisidir.



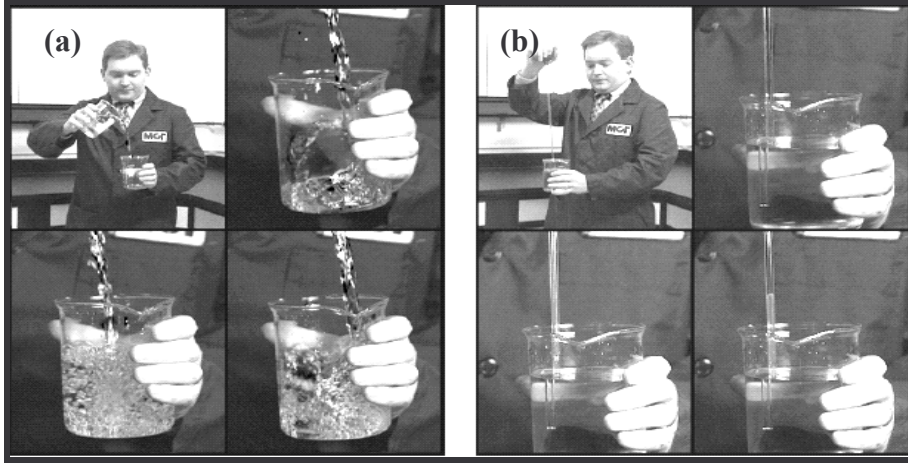
Şekil 6.12. Döküm kalıplarının hazırlanması açısından iki yöntemin şematik olarak karşılaştırılması

### 6.6.2. Yolluk sistemi ve özellikleri bakımından karşılaştırma

Şekil 6.12'da yolluk sistemi açısından da iki yöntemin farklılıkları gösterilmeye çalışılmıştır. Şekil incelendiğinde; geleneksel döküm kalıbı içerisindeki yolluk sistemi havşa, dikey yolluk (gidici), yatay yolluk (cürüflük ve memeler) gibi bir çok parçadan meydana gelirken, yerçekimine ters döküm kalıbında ise parça sadece meme veya memelere direk olarak bağlanabilmesi dolayısıyla çok basit bir yolluk sistemine sahip olduğu görülmektedir. Bu durum hem kalıp yapımı, hem de diğer işlemler açısından yerçekimine ters döküm yöntemini avantajlı hale getirdiği Bölüm 6.6.1.'de ifade edilmiştir. Bu kısımda ise yolluk sisteminin döküm işlemlerindeki etkileri ifade edilecektir.

Döküm işlemi sırasında sıvı metalin çalkantı oluşturmadan, sakın bir şekilde kalıba doldurulması istenir. Aksi takdirde, bazı döküm hatalarının oluşması söz konusu olmaktadır. Geleneksel yöntemde çalkantı oluşumunun önlenmesinde bir çok tedbirin alınması gerekmektedir. Ancak; bu tedbirlere rağmen çalkantı oluşumu çoğu zaman tamamen giderilememektedir. Buna karşın yerçekimine ters dökümde karmaşık yolluk sisteminin yerine basit bir bağlantının yapılabilmesi, dökümün pota kullanılmadan yapılabilmesi ve vakum kullanımı ile metalin sakın bir şekilde kalıp içerisine doldurulabilmesi gibi nedenlerle çalkantı oluşumu kolaylıkla önlenmektedir. Bu durum Bölüm 2.2'de Resim 2.9 ve Resim 2.10'da yolluk sistemi ve döküm şekillerinin metal akışına etkileri gösterilmektedir. Her iki şekle de bakıldığında alttan ve vakum ile kalıbın sıvı metal ile doldurulmasının avantajlı olduğu görülmektedir. Alttan ve vakum yardımıyla sıvı metalin kalıbın doldurulması şekillerde de gösterildiği biçimde çalkantı oluşumuna neden olmamaktadır. Geleneksel yöntemlerde uygulanan üstten ve yandan yolluk bağlantılarında hem çalkantı oluşmakta hem de kalıbın boşluklarına metalin doldurulması düzensiz bir biçimde olmaktadır (Resim 2.9.a ve b ile Resim 2.10.a). Bu durum çeşitli döküm hatalarına sebep olmaktadır. Basınç (gaz, pres) ile alttan doldurmada (Resim 2.9.c ve Resim 2.10.b) benzer sonuçların meydana geldiği açıkça görülmektedir. Buna karşın alttan vakum yardımı ile sıvı metalin doldurulduğu sistemde sakın ve düzenli bir akışın meydana geldiği ve sonuçta ifade edilen hataların oluşmadığı görülmektedir (Resim 2.9.d ve Resim 2.10.c).

Resim 2.23'te ise geleneksel ve vakum ile döküm işlemlerinde sıvı metal akışının su kullanılarak gösterimi verilmiştir. Geleneksel yöntemde (Resim 2.23.a) sıvı akışı çalkantılı ve sıvının doldurulduğu kabın içerisinde kabarcıkların oluştuğu görülmektedir. Diğer yandan vakum ile sıvı emildiğinde (Resim 2.23.b) ise sakın bir akış sonucu çalkantı meydana gelmediği görülmektedir. Verilen tüm şekillerde vakum ile yerçekimine ters döküm yönteminin önemli avantajlara sahip olduğu açıkça görülmektedir.



Resim 2.23. Geleneksel ve yerçekimine ters döküm yöntemlerinde kalıbın doldurulması aşamasındaki sıvı akışının karşılaştırılması [2]  
a) geleneksel akış, b) vakum ile yerçekimine ters akış

### 6.6.3. Uygulanabilirlik bakımından karşılaştırma

İki yöntemin uygulanabilirlik açısından karşılaştırılmasının yapılması bu çalışma açısından iki yöntemin her türlü metal ve alaşımı, kalıplama ve döküm işlemlerinin otomasyona uygunlukları bakımından yapılması yararlı olacaktır. Geleneksel yaş kuma döküm yöntemi ile genellikle normal atmosfer ortamından etkilenmeyen tüm metal ve alaşımların dökümü yapılabilmektedir. Ancak yerçekimine ters döküm yöntemi ile sözü edilen metal ve alaşımların yanı sıra kontrollü yada koruyucu atmosfer ortamında üretiminin yapılması gereken (Ti, Mg gibi) malzemelerin üretimi de mümkün olmaktadır. Bunlara ilaveten kompozit malzemelerin üretimlerinin de mümkün olabileceği görülmektedir. Yöntem bu yönü ile geleneksel yöntemlere kıyasla önemli avantaj sağlamaktadır. Bu konuda mevcut literatürde [2,39,69] kısıtlı da olsa çalışmanın olduğu görülmektedir. Bu konuda yapılacak çalışmaların, bu tür malzemeler üzerine yapılması ile bilim ve teknolojik alanda önemli faydalar sağlayacaktır.

## 7. SONUÇ VE ÖNERİLER

### 7.1. Sonuçlar

Elde edilen sonuçlar incelenen konulara göre sırasıyla aşağıda verilmiştir.

- ✓ Yerçekimine ters döküm de sıcaklık ve basınç değişimine bağlı olarak üretilen malzemenin yapı ve özelliklerinde değişim meydana gelmektedir. Döküm sıcaklığı azaldıkça tüm uygulamalarda yapı ve buna bağlı olarak özellikler gelişmiştir. Uygulanan vakum miktarının artırılması ile mikroyapı büyük oranda değişime uğramaktadır.
- ✓ Döküm sıcaklığına bağlı olarak mikroyapıda Si faz boyutunun küçüldüğü tespit edilmiştir. Si fazı küçülmenin yanında, düzgün haldeki şekli de değişerek küçük eğriler biçimine dönüşmektedir. Bu yapısal değişim özelliklerin geliştirilmesinde etkili olmaktadır.
- ✓ Vakum ile döküm sonucunda makroyapıda değişim meydana gelmekte ve tane boyutu küçülmektedir. Tane boyutunda meydana gelen bu küçülme sonucunda döküm parça özellikleri iyileşmektedir.
- ✓ Düşük döküm sıcaklıklarında üretilen malzemelerin özelliklerinin yüksek sıcaklık şartlarında üretilen malzeme özelliklerinden daha iyi olduğu görülmektedir. Geleneksel yöntemde elde edilen sonuçlara kıyasla vakum uygulana tüm dökümlerde daha iyi sonuçlara ulaşılmıştır.
- ✓ Döküm sıcaklığı 690 °C'den 640 °C'ye azaldığında özelliklerde geleneksel yerçekimi ile dökümde dayanımda büyük oranda artış meydana gelmiştir. Bu artış yerçekimine ters döküm işlemleri sonucunda çok daha belirgin hale gelmiştir. 690 °C sıcaklıkta 500 mmHg vakum ile elde edilen dayanıma kıyasla; 600 °C'de aynı vakum değerinde yaklaşık

% 20 daha fazla dayanım elde edilmiştir. Bu durum düşük sıcaklıklarda üretim yapılabilmesine olanak sağlayan yerçekimine ters döküm yönteminin çok önemli bir avantajını ortaya çıkarmaktadır.

- ✓ 600 °C sıcaklıkta vakum miktarındaki artışa bağlı olarak dayanım, uzama, kesit daralması, yoğunluk gibi özelliklerinde arttığı tespit edilmiştir. 640 ve 690 °C sıcaklıklarda ise bu özellikler belirli vakum seviyelerine kadar artmakta, daha yüksek vakum seviyelerinde ise azalmaktadır. 640 °C sıcaklıkta en yüksek sonuçlara 250 mmHg vakum ile ulaşılırken, 690 °C'de ise 200 mmHg'da erişilmiştir. Bu sonuçlar döküm sıcaklığındaki artışa bağlı olarak daha düşük vakum değeri ile döküm yapılmasının yüksek özelliklerin elde edilmesi açısından gerekli olduğunu göstermiştir.
- ✓ Üretilen numunelerin yoğunluk ve gözenek miktarları incelendiğinde; vakum uygulaması sonucunda geleneksel yöntemden daha yüksek yoğunluk ve daha düşük gözenek miktarının oluştuğu görülmüştür. 600 °C sıcaklıkta en yüksek yoğunluk değeri 500 mmHg vakum ile sağlanırken, 640 °C'de 250 mmHg ve 690 °C sıcaklıkta ise 200 mmHg vakum seviyesinde elde edilmiştir. Sonuçlar döküm sıcaklığı azaldıkça yüksek yoğunluğun yüksek vakum ile sağlandığını göstermiştir.
- ✓ Bu çalışma sonucunda vakum ile üretilen tüm numunelerin yoğunluklarının daha yüksek olacağı düşünülmüştü. Yaş kum kalıba döküm işlemlerinde kalıp malzemesindeki nemden kaynaklanan nedenlerle yoğunluk bakımından daha düşük sonuçlar elde edilmiştir. Yaş kum kalıp malzemesi ile dökümler yapılması durumunda mümkünse kalıpların kurutulması, kalıp yüzeylerinin boyanması gibi işlemlerin yapılması ile daha iyi sonuçların sağlanması mümkün olacaktır.

- ✓ Tüm geleneksel ve yerçekimine ters döküm deneyleri sonucunda üretilen numunelerde çekme meydana gelmiştir. Ancak vakum uygulamasına bağlı olarak çekme miktarında ve şeklinde değişim meydana gelmiştir.
- ✓ Aynı sıcaklık şartlarında geleneksel yöntemle kıyasla vakum uygulaması sonucunda çekme miktarında azalma meydana gelmiştir. Sıcaklıktaki artış ile birlikte çekme miktarında da artış meydana gelmiştir.
- ✓ Geleneksel yöntemle üretilen numunelerde üst kısımda ve yüzeyde dışa açık şekilde çekme boşluğu, dikey ve yatay doğrultuda numunelerin merkez kısımda gözenekler şeklinde meydana gelmiştir. Diğer yandan vakum uygulamasına bağlı olarak çekme miktarının azaldığı ve biçiminin de boşluk yerine gözenek şeklinde oluştuğu görülmüştür. İlaveten döküm sıcaklığına bağlı olarak vakum ile dökümde de düşük sıcaklıkta çekme miktarında azalma meydana gelmiştir.
- ✓ 600 °C sıcaklıkta vakum uygulanması sonucunda çekme oluşumu ve miktarı büyük oranda azaltılmış ve bu sıcaklıkta 500 mmHg vakum miktarında ise hemen hemen hiç çekme tespit edilmemiştir. Daha yüksek sıcaklıklarda dökümde ise vakum miktarındaki artışa bağlı olarak çekme miktarında azalma görülmüştür.
- ✓ Döküm sıcaklığındaki artış ile birlikte akıcılıkta artış meydana gelmektedir. Sıcaklık artışı akıcılığın artmasına ve sıvı metalin daha uzun mesafelere ulaşmasına olanak sağlamaktadır. Ancak sıcaklık artışının çeşitli döküm hatalarına sebep olması nedeniyle mümkün olan en düşük sıcaklıkta döküm yapılmasının uygun olduğu görülmektedir.
- ✓ Vakum uygulamasına bağlı olarak geleneksel döküme kıyasla akıcılığın iyileştiği görülmüştür. Tüm döküm sıcaklıkları ve vakum miktarlarında geleneksel dökümlere kıyasla daha yüksek dökülebilirlik değerlerine ulaşılmıştır.

- ✓ Artan vakum miktarına bağılı olarak dökülebilirlik iyileşmiştir. Aynı sıcaklıkta düşük vakuma kıyasla yüksek vakum uygulaması akıcılığı geliştirmiştir. Deneyler sonucunda; akıcılığın vakum miktarıyla paralellik gösterdiği tespit edilmiştir.
- ✓ Yaş kum kalıplara döküm işlemlerinde hem akıcılık, hem de parça yüzey kalitesi açısından en iyi sonuçlar 640°C döküm sıcaklığında elde edilmiştir. Bu sıcaklıkta döküm sonucunda akıcılık 600°C'ye göre daha yüksek, 690°C'ye kıyasla ise düşük olmasına rağmen yüzey pürüzlülüğü bakımından avantaj sağlanmaktadır.
- ✓ Geleneksel ve yerçekimine ters yaş kum kalıba döküm işlemleri sonucunda sabit sıcaklık şartlarında katılaştırma üzerine her iki yöntemin etkileri hazırlanan düzenek ile incelenmiştir. Elde edilen soğuma eğrileri yardımıyla geleneksel yöntemle kıyasla vakum ile dökümde katılma süresinin daha kısa olduğu tespit edilmiştir. İlave olarak; vakum ile döküm sonucunda katılmanın geleneksel yöntemle göre daha yüksek sıcaklıklarda başladığı görülmüştür. Bu sonuçların üretilen parçaların yapı, mekanik özellikler, dökülebilirlik, besleme ihtiyacı ve yoğunluk konularında önemli avantajlar sağladığı tespit edilmiştir.
- ✓ Her iki yöntemde de kalıp malzemesi ve kalıbın hazırlanması açısından önemli farklılıkların bulunmadığı görülmüştür. Ancak yolluk sisteminin karmaşıklığı ve sistemin bileşenlerinin sayısı, döküm işleminin uygulanabilirliği açısından vakum ile yerçekimine ters yaş kum kalıba döküm yönteminin, geleneksel yöntemle göre daha avantajlı olduğu tespit edilmiştir.

## 7.2. Öneriler

Üretilen parçaların yüzey kaliteleri açısından yapılan incelemeler; yüksek döküm sıcaklığı ve vakum miktarlarının döküm parça yüzey kalitelerinin olumsuz yönde etkilediği ve yüzey pürüzlülüğünü artırdığı tespit edilmiştir. Yaş kum kalıpların kullanılması durumunda parça yüzey kalitesinin iyileştirilmesi bakımından kalıp yüzeyinin kurutulması, kalıp yüzeylerinin boyanması gibi tedbirlerin alınması gerekli görülmüştür. Diğer yandan bu yöntemin önemli avantajlarından birisi olan düşük döküm sıcaklıklarında çalışma yapılması da yüzey kalitesinin artırılmasında fayda sağlayacağı tespit edilmiştir.

Bu amaçla yerçekimine ters döküm işlemlerinde yaş kum kalıpların kaplanmasının (boyanması) yapı ve özelliklere etkilerinin incelenmesi uygun olacaktır.

## KAYNAKLAR

1. Chandley, G.D., "Counter gravity casting of aluminum in investment and sand molds", ***AFS Transactions***, 39 :209-214 (1986).
2. İnternet: Turning the gating world upside down. <http://www.hitchiner.com> (2005).
3. Ripkin, F. and Lipson, S., "Counter gravity casting of aluminum alloys in green sand molds" ***AFS Transactions***, 70 : 581-592 (1967).
4. Lipson, S. and Ripkin, F., "Effect of sections thickness on the tensile properties of thin-section aluminum alloy sand casting" ***AFS Transactions***, 69 :192-197 (1969).
5. Chandley, G.D. and Flemings, M.C., "Gating premium quality casting" ***AFS Transactions***, 37 :121-128 (1988).
6. Flemings, M.C., Conrad, H.F. and Taylor, H.F., "Aluminum alloys fluidity test" ***AFS Transactions***, 59 :496-507 (1993).
7. Katzarov, I.H. and others, "Porosity formation in axi-symmetric castings produced by counter-pressure casting method", ***International Journal of Heat and Mass Transfer***, 44 :111-119 (2001).
8. İnternet: In situ resource utilization for processing of metal alloys on lunar and mars bases. <http://www.science.nasa.gov/newhome/headlines/space98pdf/insitu.pdf> (2005).
9. Chandley, G.D., "Use of vacuum for counter gravity casting of metals" ***Materials Res. Innovant***, 14-23, (1999).
10. Chandley, G.D., "Making casting without ladles or sprues – the CLA process" ***AFS Transactions***, 28 :37-42 (1976).
11. İnternet:Reliable castings supply –a report. [http://www.wmrc.com/business\\_briefing/pdf/auto2001/book/campbell.pdf](http://www.wmrc.com/business_briefing/pdf/auto2001/book/campbell.pdf) (2005).
12. Chendley, D. and others, "Development of thin-wall stainless steel castings using countergravity process for automobile application" ***AFS Transactions***, 82 :903-906 (1996).
13. Bakhtiyarov, S.I. and others, "Advances in Countergravity Lost Foam Casting Process" ***AFS Transactions***, 49 :137-145 (2000).
14. Westendorf, T.M. and others, "Countergravity casting of thin-wall al a356, part I: a castability study" ***AFS Transactions***, 100 :559-562 (1998).

15. Shenefelt, J.R. and others, "Countergravity casting of thin-wall al a356, part II: result of casting characterization studies" **AFS Transactions**, 101 :563-566 (1998).
16. Chandley, G.D., "Automatic counter gravity casting of shell molds", **AFS Transactions**, 23 :199-204 (1983).
17. Metal casting and molding process, **American Foundryman's Society publications**, Illinois, USA, 156-180 (1981).
18. Kubisch, "Counter gravity casting apparatus", **US Patent**, Number: 5.035.277 (1991).
19. Greanias et al., " Vacuum assisted counter gravity casting apparatus with valve to prevent flow of melt from mold", **US Patent**, Number: 5.088.546 (1992).
20. Almond, "Counter gravity casting mold", **US Patent**, Number: 4.632.171 (1986).
21. Chandley et al., "Metal casting", **US Patent**, Number: 3.863.706 (1975).
22. Chandley et al., "Metal casting", **US Patent**, Number: 3.900.064 (1975).
23. Voss, "Counter gravity casting apparatus", **US Patent**, Number: 4.658.880 (1987).
24. Mercer et al., "Counter gravity casting apparatus", **US Patent**, Number: 4.745.962 (1988).
25. Chandley et al., "Metal casting", **US Patent**, Number: 4.589.466 (1986).
26. "Casting", **ASM Handbook** 15:317-319 (1984).
27. Internet:Unique design opportunities presented by hitchiner's cv countergravity casting processes. <http://www.hitchiner.com> (2005).
28. "Molding methods and materials", **American Foundryman's Society publications**, Illinois, USA, 120-130 (1962).
29. Barkhudarov, M.R., "Advanced simulations of the flow and heat transfer process in simultaneous engineering", **Flow Science Inc.** 1257, 40.th Street, Los Alamos, New Mexico, 87544, USA, (2002).
30. Mampaey, F. And Xu, Z.A., "Mold filling and solidification of a thin-wall ductile iron casting", **AFS Transactions**, 73 :95-103 (1997).

31. "The casting filling process" *Foundryman*, 94 :203-209 (2001).
32. "The casting filling process-introduction-part II" *Foundryman*, 94 :322-329 (2001).
33. Kim, E.S., Lee, K.H. and Moon, Y.H., "A feasibility study of the partial squeeze and vacuum die casting process", *Journal of Materials Processing Technology*, 105 :42-48 (2000).
34. Niu, X.P., Hu, B.H., Pinwill, I. and Li, H., "Vacuum assisted high pressure die casting of aluminium alloys", *Journal of Materials Processing Technology*, 105 :119-127 (2000).
35. Sulaiman, S., Hamouda, A.M.S., Abedin, S. and Osman, M.R., "Simulation of metal filling progress during the casting process" *Journal of Materials Processing Technology*, 100 :224-229 (2000).
36. Mirbagheri, S.M.H., Esmaeileian, H., Serajzadeh, S., Varahram, N. And Davami, P."Simulation of melt flow in coated mold cavity", *Journal of Materials Processing Technology*, 142 :493-507 (2003).
37. Sulaiman, S. and Kee, T.C., "Flow analysis along the runner and gating system of a casting process", *Journal of Materials Processing Technology*, 63 :690-695 (1997).
38. Cleary, P., Ha, J., Algvine, V. And Nguyen, T., "Flow modelling in casting process", *Applied Mathematical Modelling*, 26 :171-190 (2002).
39. Venkataramani, R. and others, "Effect of melt superheat on maximum nuclei density in A356 alloy", *Materials Characterization*, 35:81-92 (1995).
40. Rasmussen, N. W., " New filling/feeding process produces vertically-parted aluminum green sand castings" *Modern Casting*, 54-55 (2000).
41. Barone, M.R. and Caulk, D.A., "Analysis of liquid metal flow in die casting" *GM Research and Development Center*, (1999).
42. Kuo, Y.S., Chang, E. and Lin, Y.L., " The feeding effect of risers on the mechanical properties of A201 Al alloy plate casting" *AFS Transaction*, 159 :777-782 (1989).
43. İnternet: Experimental model for casting problems, <http://www.fluid.ippt.gov.pl/papers/tkowalewski-cmem01.pdf> (2005).

44. Han, S.W., Katsumata, K., Kumai, S. and Satı, A., "Effects of solidification structure and aging condition on cyclic stress-strain response in Al -7 % Si – 4 % Mg cast alloys", ***Materials Science and Engineering A***, 337 :170-178 (2002).
45. Campbell, J., " The concept of net shape for casting", ***Materials and Design*** 21 :373-380 (2000).
46. Gonzales-Rivera, C., Campillo, B., Castro, M., Herrera, M. and Juarez-Islas, J., "On the local microstructural characteristics observed in sand cast Al-Si alloys", ***Materials Science and Engineering A***, 279 :149-159 (2000).
47. Fox, S. And Campbell, J., "Visualisation of oxide film defects during solidification of aluminum alloys", ***Scripta Materialia***, 43:881-886 (2000).
48. Niyama, E., Anzai, K., Funakubo, T. And Hiratsuka, S., "Some basic research for thin-wall casting technology", ***Journal of Materials Processing Technology***, 63 :779-783 (1997).
49. İnternet: Cast metal matrix composites, <http://www.hitchiner.com> (2005).
50. Seniw, M.E., Conley, J.G. and Fine, M.E., "The effect of microscopic inclusion locations and silicon segregation on fatigue lifetimes of aluminum alloy A356 casting", ***Materials Science and Engineering A***, 285 :43-48 (2000).
51. Tran, C., Law, J., van der Touw, J., Murray, M., Yao, J.Y., Graham, D. and St.john, D., "Effect of melt cleanliness on the formation of porosity defects in automotive Al high pressure die castings", ***Journal of Materials Processing Technology***, 122 :82-93 (2002).
52. Campbell, J. "Casting" ***Butterworth-Heinemann***, 120-300 (1999).
53. Lim, C.S., Clegg, A.J. and Loh, N.L., "The reduction of dendrite ARM spacing using a novel pressure assisted investment casting approach", ***Journal of Materials Processing Technology***, 70 :99-102 (1997).
54. Anson, J.P., Stucky, M. and Druzleski, J.E., "Effect of Sr modification on nucleation and growth of microporosity during the solidification of Al-7%Si foundry alloy", ***AFS Transactions***, 70 :419-426 (2000).
55. Lee, J.H., Kim, H.S., Won, C.W. and Cantor, B., "Effect of the gap distance on the cooling behavior and the microstructure of indirect squeeze cast and gravity die cast 5083 wrought Al alloy", ***Materials Science and Engineering A***, 338 :182-190 (2002).

56. Güleyüpoğlu, S., "Casting process design guidelines", **AFS Transactions**, 83: 869-876 (1997).
57. Kuo, J.H., Hsu, F.L. and Hwang, W.S., "Development of an interactive simulation system for the determination of the pressure-time relationship during the filling in a low pressure casting process", **Science and Technology of Advanced Materials**, 2 : 131-145 (2001).
58. Dash M., and Malkhlouf, M., "Effect of key alloying elements on the feeding characteristics of aluminum- silicon casting alloys", **Journal of Light Metals**, 1 : 251-265 (2001).
59. Li, K. D., Cheng, M. C. and Chang, E., "Effect of pressure on the feeding behavior of A356 alloy in low-pressure casting" **AFS Transaction**, 026 : 311-320 (2001).
60. Lee, Y.W., Chang, E., Lin, Y.L and Yeh, C.H., "Correlation of feeding and mechanical properties of A206 aluminum alloy plate casting" **AFS Transaction**, 187 :935-941 (1990).
61. Loper, Jr, C.R. and Prucha, T.E., "Feed metal transfer in AL-Cu-Si alloys" **AFS Transaction**, 165 :845-853 (1990).
62. Fuoco, R., Correa, E.R. and de A. Bastos,M., "Effects of grain refinement on feeding mechanisms in A356 aluminum alloy" **AFS Transaction**, 78 : 401-409 (1998).
63. Pan, E. N., Lin, C.S. and Loper Jr, C.R., "Effects of solidification parameters on the feeding efficiency of A356 aluminum alloy" **AFS Transaction**, 117 :735-746 (1990).
64. Taylor, J.A., Schaffer, G.B. and StJohn, D.H., "Shrinkage porosity formation in iron-containing Al-Si-Cu-Mg casting alloys", **Proc. Inter. Conf. On Casting and Solidification of Light Alloys, Gold Coats**, Australia, 55-60 (1995).
65. Xiong, M. and Kuznetsov, A.V., "An investigation of the microporosity formation in an Al-4.1 % Cu alloy casting in microgravity and in standard gravity", **Heat and Mass Transfer**, 38 :35-43 (2001).
66. Dahle, A.K. and StJohn, D.H., "Rheological behaviour of the mushy zone and its effect on the formation of casting defects during solidification", **ACTA Metallurgica**, 47:31-41 (1999).
67. Knuutinen, A., Nogita, K., McDonald, S.D. and Dahle, A.K., "Porosity formation in aluminum alloy A356 modified with Ba, Ca, Y and Fb" **Journal of Light Metals**, 1 : 241-249 (2001).

68. Shivkumar, S. and others, "Polymer-melt processes", ***Scripta Metallurgica et Materialia***, 33 :39-46 (1995).
69. Mihaichuk, W., "Graphite mold casting the zinc foundry alloys", ***Modern Casting***, 25-30 (1981).

## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : HASIRCI, Hasan  
 Uyuğu : T.C.  
 Doğum tarihi ve yeri : 08.07.1972, Samsun  
 Medeni hali : Evli (1 çocuk babası)  
 Telefon : 0 (312) 212 68 20 / 1734  
 Faks : 0 (312) 212 00 59  
 e-mail : hasirci@gazi.edu.tr

### Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi / Metal Eğitimi	2000
Lisans	Gazi Üniversitesi/ Döküm Öğretmenliği	1996

### İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
1997-	Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi	Araştırma Görevlisi

### Yabancı Dil

İngilizce

### Yayınlar

#### Yurtdışı (SCI)

- Şeker, U., Çiftçi, İ., Hasırcı, H., "The Effect Of Alloying Elements On Surface Roughness And Cutting Forces During Machining Of Ductile Iron" *Materials Design*, 24 (1) : 47-51 (2003).
- Şeker, U., Hasırcı, H., " Evaluation Of Machinability Of Austempered Ductile Irons In Terms Of Cutting Forces And Surface Quality" *Journal of Materials Processing Technology* 173 (3): 260–268 (2006).

## Yurtiçi

3. Hasırcı,H., Erdoğan,M.,"Östemperlenmiş Küresel Grafitli Dökme Demirlerde Alaşım Elementleri (Cu,Ni) ve Östemperleme Süresinin Mikroyapı ve Çekme Özellikleri Üzerine Etkileri " **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi**, ISSN 1300-1833, 13 (4): 1065-1079 (2000).
4. Hasırcı,H., Erdoğan,M.,"Küresel Grafitli Dökme Demirlerde Alaşım Elementlerinin (Cu, Ni) Mikroyapıya Etkileri " **G.Ü.Teknik Eğitim Fakültesi Politeknik Dergisi**, 3 (1) :59-66 (2000).
5. Hasırcı,H., Erdoğan,M.,"Östemperlenmiş Küresel Grafitli Dökme Demirlerde Alaşım Elementleri (Cu,Ni) ve Östemperleme Süresinin Mikroyapı Üzerine Etkileri ", **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi** , ISSN 1300-1833, 14 (1) : 147-161 (2001).
6. Gül,F., Hasırcı,H., Akar,N., Yalçın,N.,"Bilyalı Filtrelerle Yapılan Metal Filtrasyonu İşleminin KGDD'lerin Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerine Etkisi " **G.Ü.Teknik Eğitim Fakültesi Politeknik Dergisi**, ISSN 1302-0900, 4 :53-57 (2002).
7. Aşkun,Y., Şeker,U., Hasırcı,H., "Ni Ve Cu İle Alaşımlandırılmış Küresel Grafitli Dökme Demirlerin İşlenebilirliğinin Kesme Kuvvetleri Ve Yüzey Kaliteleri Açısından Değerlendirilmesi" **P.Ü. Müh Fak. Mühendislik Bilimleri Dergisi** 9(2) :191-199 (2003).
8. Hasırcı,H., Erdoğan,M.,"Alaşım Elementleri Tür (Cu,Ni) ve Miktarlarının Küresel Grafitli Dökme Demirlerde Mikroyapı ve Mekanik Özellikler Üzerine Etkileri " **10. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi Bildiriler Kitabı**, 24-28,İstanbul-TÜRKİYE, 1: 393-402 (2000).
9. Hasırcı,H., Erdoğan,M.,"Östemperlenmiş Küresel Grafitli Dökme Demirlerde Alaşım Elementleri (Cu,Ni) ve Östemperleme Süresinin Mikroyapı ve Darbe Dayanımına Etkileri " **10. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi Bildiriler Kitabı**, 24-28,İstanbul-TÜRKİYE, 2: 1011-1026 (2000).
- 10.Şenel,L., Hasırcı,H., Gül,F.,"Östemperlenmiş Küresel Grafitli Dökme Demirlerde Isıl İşlem Şartlarına Bağlı Olarak Grafit Küre Sayısı Ve Boyutlarının Değişimi", **11. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi e- Bildiriler Kitabı**, 5-9, İstanbul-TÜRKİYE (2002).
- 11.Çetin,M., Hasırcı,H., "Kardemir Hematit II (H2) Pikinden KGDD Malzeme Üretiminin Araştırılması", **11. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi e- Bildiriler Kitabı**, 5-9, İstanbul-TÜRKİYE (2002).

12. Hasırcı, H., Gül, F., " Yerçekimine Ters Döküm Yöntemi ile Üretilen Döküm Parçaların Mikroyapı ve Mekanik Özellikleri Üzerine Basınç ve Sıcaklığın Etkisi", **3.Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu e-bildiriler kitabı**, 18-20 Ağustos, Ankara – TÜRKİYE (2003).
13. Hasırcı, H., Gül, F., "Yerçekimine Ters Döküm Al-10Si Alaşımlarının Abrasif Aşınma Davranışı", **1.Uluslararası Mesleki ve Teknik Eğitim Teknolojileri Kongresi e-bildiriler kitabı**, 05-07 Eylül, İstanbul – TÜRKİYE (2005).
14. Hasırcı, H., Gül, F., "Yerçekimine Ters Döküm Yönteminde Üretim Şartlarının Döküm Parçaların Mekanik Özellikleri Üzerine Etkileri", **12.Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi e-bildiriler kitabı**, 28 Eylül - 02 Ekim, İstanbul – TÜRKİYE (2005).
15. Hasırcı, H., Gül, F., " Yerçekimine Ters Döküm Yönteminde Üretim Şartlarının Döküm Parçaların Mekanik Özellikleri Üzerine Etkileri", **11. Uluslararası Denizli Malzeme Sempozyumu e-bildiriler kitabı**, 19-20-21 Nisan Denizli – TÜRKİYE (2006).

#### Atıflar

##### Atıf yapılan yayın

- 1) Şeker, U., Çiftçi, İ., Hasırcı, H., "The Effect Of Alloying Elements On Surface Roughness And Cutting Forces During Machining Of Ductile Iron" **Materials Design** 24 (1):47-51 (2003).

##### Atıf yapan yayın

1. Franco D, Estrems M, Faura F, " Influence of radial and axial runouts on surface roughness in face milling with round insert cutting tools", **International Journal of Machine Tools & Manufacture** 44 (15): 1555-1565 (2004).
2. Klocke F, Brinksmeier E, Weinert K, "Capability profile of hard cutting and grinding processes", **Cirp. Annals-Manufacturing Technology** 54 2: 557-580 (2005).