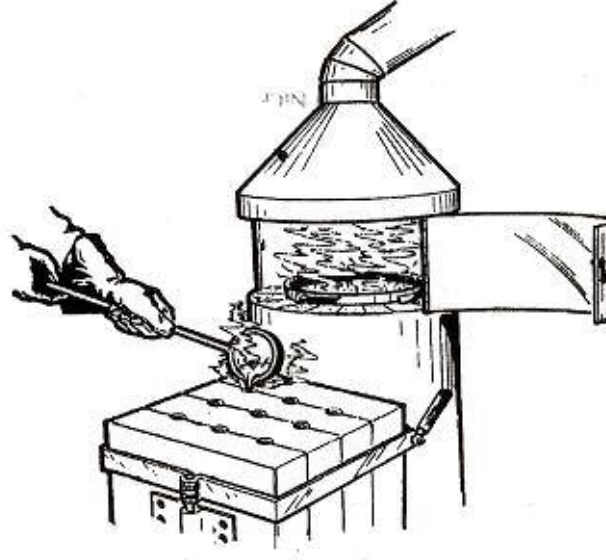


# DÖKÜM TEKNOLOJİSİ

## İMAL USÜLLERİ DERS NOTLARI



**Prof. Dr. Ahmet Aran**  
**İTÜ Makina Fakültesi**

**İstanbul, 2007**

## İÇİNDEKİLER

### 1 GİRİŞ

- 1.1. DÖKÜM TEKNİĞİ
- 1.2 TARİHÇE
- 1.3 TÜRKİYE'DE DÖKÜM SANAYİ

### 2. ERİTME, DÖKME ve KATILAŞMANIN ESASLARI

- 2.1 ERİTME
- 2.2 GAZ ÇÖZÜNÜRLÜĞÜ VE GAZ GİDERME
- 2.3 KALIBIN DOLDURULMASI VE YOLLUK SİSTEMİ
- 2.4 AKICILIK
- 2.5 KATILAŞMA
  - 2.5.1 Saf Metallerde Katılaşma
  - 2.5.2 Alaşımlarda Katılaşma
  - 2.5.3 Katılaşma Sırasında Oluşan Hacim Azalmaları
  - 2.5.4 Kalıp İçinde Katılaşmanın Yönlendirilmesi

### 3. KUM KALIBA DÖKÜM

- 3.1 GİRİŞ
- 3.2 MODELLER
  - 3.2.1 Model Türleri
  - 3.2.2 Model Tasarımı
  - 3.2.3 Model Malzemeleri
- 3.3 MAÇALAR
- 3.4 KUM ESASLI KALIP TÜRLERİ
  - 3.4.1 Yaş Kum Kalıplar
  - 3.4.2 Kuru Kum Kalıplar
  - 3.4.3 Toprak (Balçık) Kalıplar
  - 3.4.4 Çukur Kalıplar
  - 3.4.5 Karbondioksit Yöntemi
  - 3.4.6 Kabuk Kalıplar
  - 3.4.7 Havada Sertleşen Kalıplar
  - 3.4.8 Çimento Bağlayıcı Kalıplar
  - 3.4.9 Vakumlu Kalıplama Yöntemi
  - 3.4.10 Dolu Kalıba Döküm
- 3.5 KUM ESASLI KALIP MALZEMELERİ
  - 3.5.1 Kum Özellikleri
  - 3.5.2 Bağlayıcı ve Diğer Katkılar
  - 3.5.3 Kum Esaslı Kalıp Malzemelerinin Özellikleri
  - 3.5.4 Kum Yenileme ve Taşıma
  - 3.5.5 Yüzey Kaplamaları
- 3.6 KUM KALIPLAMA MAKİNALARI

#### 4. DİĞER DÖKÜM YÖNTEMLERİ

##### 4.1 HARCANAN KALIP KULLANILAN YÖNTEMLER

- 4.1.1 Hassas Döküm
- 4.1.2 Alçı Kalıba Döküm
- 4.1.3 Seramik Kalıba Döküm

##### 4.2 KALICI KALIP KULLANILAN YÖNTEMLER

- 4.2.1 Kalıcı Kalıba Döküm
- 4.2.2 Basınçlı Döküm
- 4.2.3 Savurma Döküm
- 3.4.4 Çukur Kalıplar
- 3.4.5 Karbondioksit Yöntemi
- 3.4.6 Kabuk Kalıplar
- 3.4.7 Havada Sertleşen Kalıplar

#### 5. ERİTME OCAKLARI

##### 5.1 POTALI OCAKLAR

##### 5.2 KUPOL OCAĞI

##### 5.3 ALEVLİ OCAKLAR

##### 5.4 ELEKTRİKLİ OCAKLAR

- 5.4.1 Ark Ocakları
- 5.4.2 Endüksiyon Ocakları:
- 5.4.3 Direnç Ocakları

#### 6. BİTİRME İŞLEMLERİ

##### 6.1 KALIP BOZMA

##### 6.2 YOLLUK VE ÇIKICILARIN AYRILMASI

##### 6.3 YÜZEY TEMİZLEME

##### 6.4 ÇAPAK KESME

##### 6.5 ISIL İŞLEM

##### 6.6 SON YÜZEY İŞLEMLERİ

##### 6.7 ONARIM

#### 7. DÖKÜM KUSURLARI VE KALİTE KONTROL

##### 7.1. DÖKÜM PARÇA KONTROLÜ

##### 7.2 DÖKÜM PARÇA KUSURLARI

#### 8. DÖKÜM PARÇA TASARIMI

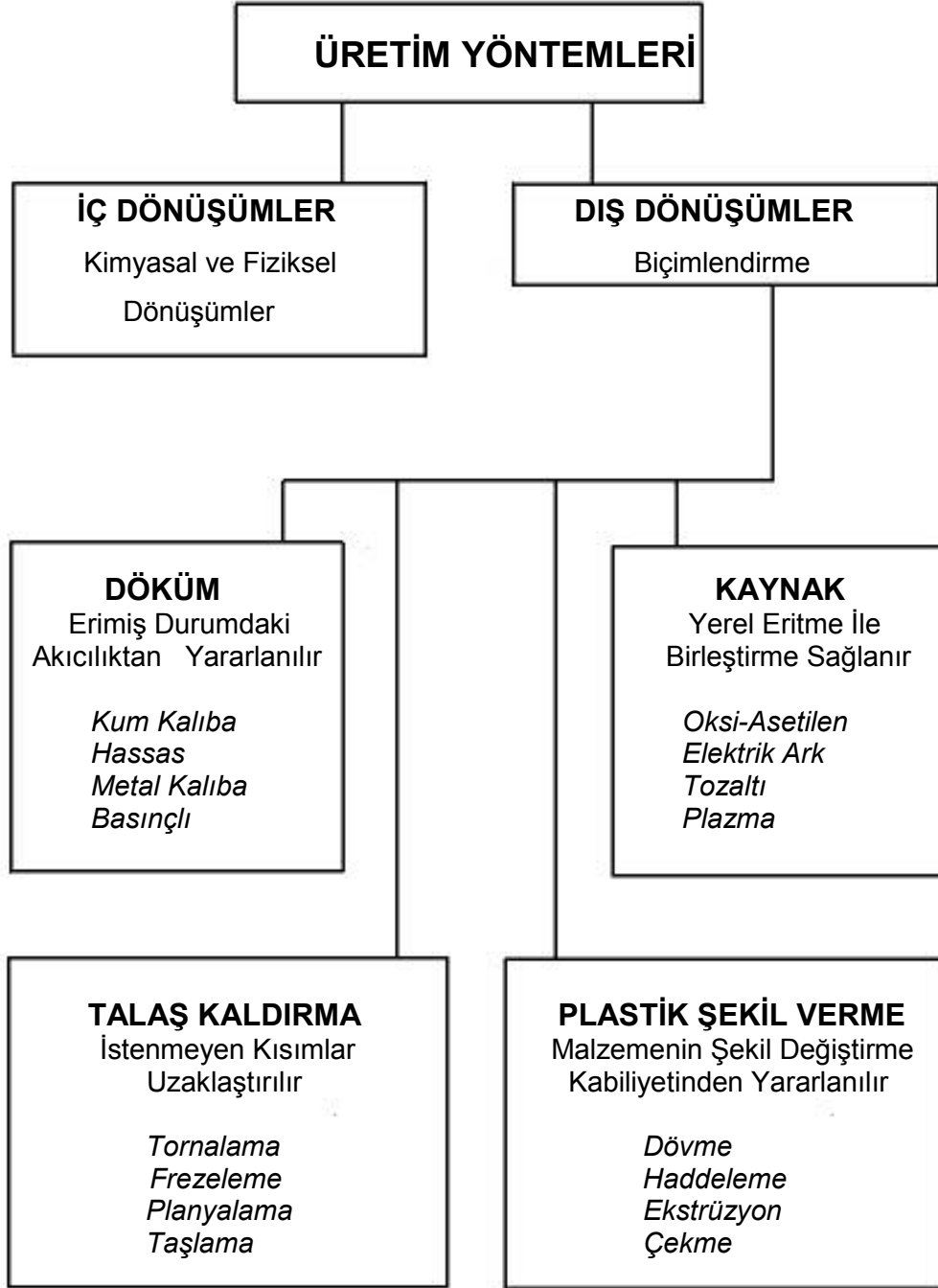
#### 9. DÖKÜM MALZEMELERİ

## 1 GİRİŞ

Günümüz insanının yaşam standartında son 50 yılda sağlanan olağanüstü iyileşme, büyük ölçüde mühendislik tasarımlarının seri ve ucuz olarak imalatını sağlayan yöntemlerin geliştirilmesi sayesinde. İmal usullerini tanımak bütün mühendislik disiplinleri için kaçınılmaz bir zorunluluktur. Mühendisler her bir imal usulünün imkanlarını, üstünlüklerini ve sınırlarını tanıyarak amaçladıkları tasarıma en ucuz ve doğru olarak ulaşmak için gerekli bilgileri edinmek zorundadırlar.

Üretim, doğada bulunan maddeleri istenilen özellik ve biçimdeki ürünlere dönüştürmek olarak tanımlanabilir. Üretim yöntemlerini iç ve dış dönüşümler olarak ikiye ayırmak mümkündür. İç dönüşümler genellikle cevherlerin indirgenmesi, kimyasal arıtma, ısı işlemler gibi maddelerin kimyasal dönüşüme uğradıkları tekniklerdir. Dış dönüşümler ise malzemelerin istenilen biçim ve boyutlara getirilmesi anlamında olup, Türkçe teknik terminolojide bu yöntemler için genellikle "imal usulleri" adı kullanılmaktadır. İmal usulleri çok sayıda değişik yöntemi içerir; bunlar arasında başlıcaları döküm, kaynak, plastik şekil verme ve talaş kaldırma yöntemleridir, Şekil 1.1.

Bu kitap kapsamında ele alınan döküm tekniği, sıvı halde akıcı olan metallerin, üretilmek istenen parçanın biçiminde bir boşluk içeren kalıplara (yerçekimi yardımıyla veya uygulanan basınçla) doldurularak katılaştırıldığı bir imalat yöntemidir. Sıvı metalin içine döküldüğü kalıp olarak, her dökülen parçadan sonra bozulan (örneğin kum) kalıplar kullanıldığı gibi, birden fazla parçanın üretimine imkan veren kalıcı (örneğin metal) kalıplar da kullanılabilir. Metalin katılaşmasından sonra kum kalıplarda kalıp bozularak, kalıcı kalıplarda ise kalıp açılarak dökülen parça çıkarılır. Döküm yöntemiyle doğrudan parça üretildiği gibi, ingotlar da dökülebilir. İngotlar, metal endüstrisinde alıştıdırılması tamamlanmış eriyik halindeki malzemenin, haddeme veya dövme ile şekil verilmek üzere basit ve büyük kalıplara dökülmesi ile elde edilen parçalardır.



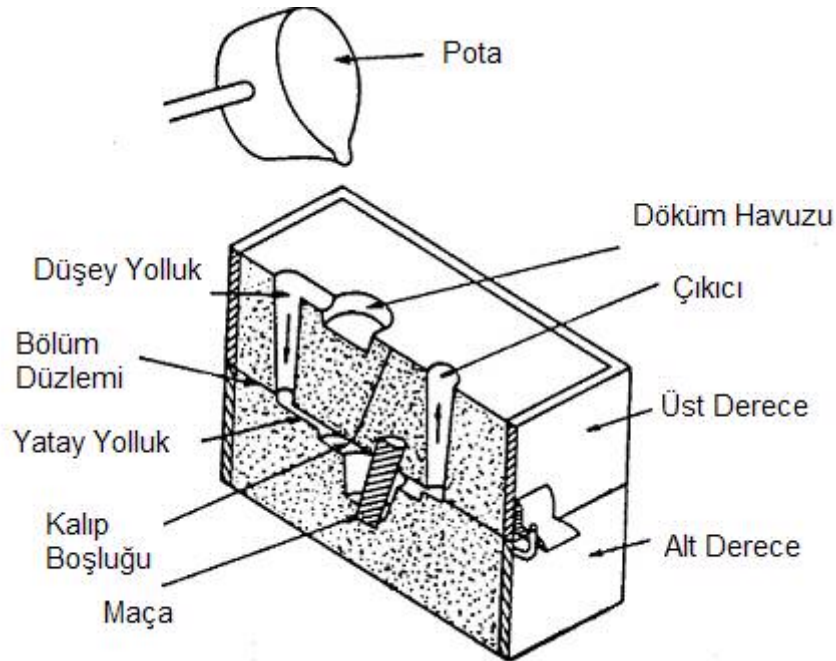
Şekil 1.1. Üretim Yöntemleri

Döküm yönteminin diğer imal usullerinden **üstünlükleri** şöyle sıralanabilir:

- Yöntemin sınırları çok geniş olup, hem çok küçük parçaların, hem de tonlarca ağırlıktaki büyük parçaların üretimine uygun değişik teknikler bulunmaktadır.
- Çok karmaşık biçimli ve içi boş parçaların üretimi mümkündür.
- Hemen hemen tüm metal alaşımlarının dökümü mümkündür. Bazı malzemeler ise (örneğin dökme demir) sadece döküm yoluyla elde edilebilir.
- Seri üretime uygun döküm yöntemleri geliştirilmiştir.

Döküm yönteminin **sınırları** ise şunlardır

- Çok ince kesitlerin elde edilmesi güçtür.
- Az sayıda parça üretimi için genellikle ekonomik değildir.
- Aynı malzemenin plastik şekil verme yöntemleri (örneğin dövme) ile elde edilmiş olanı, dayanım bakımından genellikle daha üstündür.
- Genellikle hassas boyut toleranslarının ve iyi yüzey kalitelerinin sağlanması güçtür.
- Çevre dostu bir imalat yöntemi değildir.



Şekil 1.2: Döküme hazır bir kapalı kum kalıbı kesiti

## 1.1. DÖKÜM TEKNİĞİ

Döküm işlemi, içinde üretilmek istenen parçanın biçimine sahip bir boşluk bulunan kalıplara sıvı metalin doldurulması ile yapılır. Kalıp boşluğunun boyutları elde edilmek üzere parçanın biraz daha büyüktür; bu şekilde katılma ve soğuma sırasındaki boyut azalmaları dengelenir. Sıvı metalin doldurulduğu kalıp açık veya kapalı olabilir. Döküm teknolojisinde daha yaygın olarak kullanılan kapalı kalıplarda, sıvı metalin kalıba doldurulması için bir yolluk sistemi bulunur, Şekil 1.2. Kalıplar değişik refrakter malzemelerden yapılabilir, bunlar arasında kum, alçı, seramik ve metal sayılabilir. Katılma sonrasında bazı döküm yöntemlerinde parçanın çıkarılması için kalıbın bozulması gerekir, yani kalıplar sadece bir kez kullanılırlar (kum kalıp). Bazı yöntemlerde ise kalıplar kalıcıdır ve birden çok parça üretimi için kullanılırlar (metal/kokil kalıp).

Döküm öncesinde metal eritilir ve döküm sıcaklığına çıkarılır. Kalıba dolan metal soğumaya başlar, sıcaklık belirli bir değere düştüğü zaman katılma başlar ve katılma tamamlandığında hala sıcak olan parça oda sıcaklığına kadar soğur. Bu sırada önemli miktarda ısı uzaklaştırılır ve faz dönüşümleri olabilir. Bütün bu süreç boyunca parçanın boyut ve biçimi yanında malzemenin içyapısı ve dolayısıyla özellikleri belirlenir. Döküm sonrasında parça kalıptan çıkarılır, parçaya ait olmayan kısımlar uzaklaştırılır, yüzey temizlenir, varsa ısıl işlem yapılır ve gerekli kontrollerden sonra imalat tamamlanmış olur.

Değişik ülkelerden bilim adamları, mühendis ve ustaların katkılarıyla kalıp malzemeleri, kalıplama yöntemleri, eritme ocakları, döküm malzemeleri gibi alanlarda sürekli geliştirilen döküm teknolojisi, günümüzde yaygın olarak kullanılan bir imalat yöntemi haline gelmiştir. Döküm yoluyla biçimlendirilen metallerin en önemlileri: dökme demirler, çelik, bakır ve alüminyum alaşımlarıdır. Günümüzün dökümhaneleri mekanizasyon ve otomasyon yöntemlerinin yaygın olarak uygulandığı modern tesislerdir.

Döküm tekniğinde kaliteyi, büyük ölçüde erimiş metalin içine döküldüğü kalıpların türü ve hazırlanışında gösterilen özen belirler. Uygulanacak kalıplama yönteminin seçiminde: üretilecek parça sayısı, amaçlanan üretim hızı, boyut hassasiyeti, yüzey kalitesi, metalurjik kriterler ve yöntemle özgü diğer özellikler dikkate alınır. Metal döküm teknikleri kullanılan kalıpların türüne göre iki gruba ayrılır:

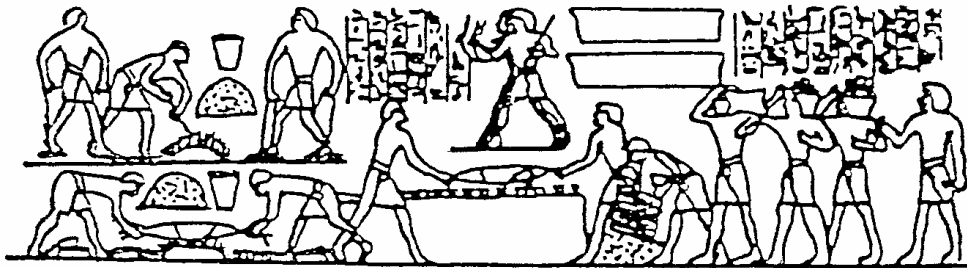
- **Harcanan kalıp kullanılan yöntemler:** Bu yöntemlerde katılma sonrasında parça çıkarılırken kalıp bozulur. Yani her yeni parça için yeni bir kalıp gereklidir.
- **Kalıcı kalıp kullanılan yöntemler:** Bu yöntemlerde kalıp defalarca kullanılabilirdiğinden, seri üretim için daha ekonomik çözümdür.

Bu kitapta döküm yöntemleri bu iki grupta toplanarak teker teker ele alınacaktır. Ancak bunlar arasında kum kalıba döküm uygulamaları diğer tekniklere göre çok daha yaygın olarak kullanıldığından, ayrıntılı bilgi verebilmek amacıyla ayrı bir bölüm olarak ele alınmıştır.

## 1.2 TARİHÇE

Arkeolojik bulgular, döküm yönteminin M.Ö.4000 yıllarından başlayan bir geçmişi olduğunu göstermektedir. Eski çağlarda kullanılan eritme ocaklarında genellikle bakır cevheri ile odun, tabakalar halinde doldurulur ve ayakla çalışan keçi derisi körükler yardımıyla eritilen metal, taş veya pişirilmiş kilin işlenmesiyle elde edilen kalıplara dökülürdü. Önceleri tek parça açık kalıplarla balta ve benzeri yassı parçaların üretimi için kullanılan döküm tekniği, yuvarlak biçimli parçaların üretilmesi için iki veya daha çok parçalı kalıpların kullanımıyla geliştirildi. M.Ö. 2000 yıllarından itibaren iç boşlukların elde edilmesi için pişirilmiş kilden maçalar kullanılmaya başlandı. Bunun yanında kalıplamada mum modellerin kullanıldığı ve ısıtılarak eritilen mumun kalıbı terketmesiyle kalıp boşluğunun oluşturulduğu hassas döküm yöntemi de aynı asırlarda geliştirilmiştir. M.Ö.1500 yılından başlayarak döküm tekniğinin özellikle Mezapotamya ve Çin'de çok geliştirildiği ve Çinlilerin çok parçalı kalıplarla karmaşık parçaların üretiminde ustalaştığı görülmektedir.

Geliştirilen bu teknikler savaşlar ve göçebe insanlarla birlikte Akdeniz havzasına ve daha sonra Avrupa'ya ulaştı. Mısırlı ustaların da metal döküm tekniğine çok önemli katkıları olmuştur. Avrupa'da döküm uygulamaları, başlangıçta kiliselerin himaye ve kontrolünde gerçekleşmiş ve dökümcüler 13.yüzyıla kadar genellikle kiliselere çan dökmek ile uğraşmışlardır. Nitekim ilk bronz top, döküm ustası bir rahip tarafından 1313 yılında dökülmüştür. Bunun yanında özellikle İtalya'da çok sayıda sanat dökümü üretilmiş, papalık dökümhanesinin başında bulunan ustalar döküm teknolojisi hakkında ilk kitapları hazırlamışlardır. Rönesans'tan sonra canlanan sanat uygulamaları ve ticaret, bağımsız bir döküm sanayinin gelişmesinin başlangıcı olmuştur.



Şekil – 1.3. Mısırlılarda metal dökümü (M.Ö.1500)



### 1.3 TÜRKİYE'DE DÖKÜM SANAYİ

Ülkemizde döküm yönteminin ilk önemli uygulamaları askeri amaçlı olup, Fatih Sultan Mehmet tarafından Tophane'de kurulan top dökümhanesi, diğer padişahlar tarafından da (özellikle Kanuni zamanında) geliştirilmiştir. Cumhuriyet döneminde de devlet yatırımları olarak büyük döküm tesisleri kurulmuştur. 1960' lardan sonra otomotiv ve inşaat sektörünün gelişmelerine paralel olarak ülkemizdeki döküm sanayi de hızlı bir gelişme göstermiştir. Halen ülkemizde sanayinin yoğun olduğu bölgelerde değişik kapasitelerde çok sayıda dökümhane bulunmakta ve bu kitap kapsamında ele alınan yöntemlerin büyük çoğunluğu başarı ile uygulanmaktadır. Türk döküm sanayi halen Avrupada 6., dünyada ise 13. sıradadır. Yaklaşık 1.000.000 ton/yıl olan toplam üretimin %71'i lamel grafitli dökme demir, %14'ü küresel grafitli (sfero) dökme demir, %1'i temper dökme demir, %10'u dökme çelik ve %4'ü de demirdışı metallerin üretimi olarak gerçekleştirilmektedir. Bu üretimin %25'i inşaat, %35'i makina-imalat, %20'si otomotiv, %8'i basınçlı boru ve %12'si demir-çelik ve diğer alanlarda kullanılmaktadır. Türk Döküm Sanayicileri Derneği tarafından hazırlanan aşağıdaki tablolarda, bu sektörün son 40 yıl içindeki hızlı gelişmesi açıkça görülmektedir. Tablo 1.1'de verilen yıllık üretim rakamları son 40 yıldaki büyük gelişmeyi, Tablo 1.2'de verilen ihracat rakamları da 1980 yılından itibaren ihracatta sağlanan büyük artışları yansıtmaktadır. Türk Döküm Sanayinde yaşanan değişimi vurgulamak için, Tablo 1.3'de, 1977 ile 1998 yıllarına ait rakamlar karşılaştırılmaktadır. Görüldüğü gibi bu 20 içinde sektörde büyük işletmelerin üretimdeki payı hızla artmış, gerçekleştirilen modern yatırımlar ve verimlilik artışları sonucu çalışan sayısı hemen hemen aynı kalmasına rağmen üretimde iki kat artış sağlanmıştır.

Tablo 1.1: Türk Döküm Sanayinin son 40 yıl içindeki üretim rakamları (ton)

YIL	KIR DD	SFERO	TEMPER	ÇELİK	DEMİR DIŞI.	TOPLAM
1960	150,000		1,000	10,000		161,000
1970	200,000		2,000	15,000		217,000
1985	385,000	18,000	9,000	58,000		470,000
1990	415,000	60,200	10,500	58,000		543,000
1995	606,000	79,700	12,960	65,690	20,000	764,350
2000	690,000	130,000	7,000	98,000	40,000	965,000

Tablo 1.2: Türk Döküm Sanayinin son 20 yıl içindeki ihracat rakamları

Yıl	KIR DD	SFERO	TEMPER	ÇELİK	DEMİR DIŞI	TOPLAM
1980	3.770	---	-----	880		4.650
1990	15.178	2.500	722	2.800		21.200
1997	98.000	39.000	1.840	21.000		159.840
2000	198.000	61.500	3.700	47.000	18.700	328.900

Tablo 1.3: Türk Döküm Sektöründe 1977-1998 arasındaki gelişmeler

		1977			1998		
		Büyük Tesisler	Küçük Tesisler	TOPLAM	Büyük Tesisler	Küçük Tesisler	TOPLAM
Kır DD	Ton	141500	230000	371500	605000	90000	695000
	%	38	62	100	87	13	100
Sfero	Ton	2500	-	2500	11760	240	12000
	%	100	-	100	98	2	100
Temper	Ton	2500	-	2500	115940	7060	123000
	%	100	-	100	98	2	100
Çelik	Ton	65000	-	65000	100000	1000	101000
	%	100	-	100	100	-	100
Çalışan	Kişi	8146	11850	19996	19860	6502	22362

## 2. ERİTME, DÖKME ve KATILAŞMANIN ESASLARI

### 2.1 ERİTME

Metali eriterek, döküm sıcaklığına ulaştırmak için eritme ocaklarından yararlanılır. Bu ocaklarda ayrıca alaşımlama, bileşimin ayarlanması, katışkılarının giderilmesi, gaz giderme ve aşılama gibi bazı ek işlemler de, dökümden hemen önce gerçekleştirilir. Eritme ve döküm uygulamalarında büyük özenle çalışılmalıdır, çünkü yapılacak en küçük hatalar dahi, kaliteyi büyük ölçüde etkileyen ve daha sonra giderilmesi mümkün olmayacak sonuçlara neden olabilir.

Bir saf metali döküm sıcaklığına ulaştırmak için harcanan enerji

- Metali başlangıç sıcaklığından erime sıcaklığına çıkarılması
- Metali sabit sıcaklıkta eritilmesi ve
- Erimiş metalin döküm sıcaklığına çıkarılması

için harcanır ve birim ağırlık başına toplam ısı

$$Q = \rho V \{c_k (T_e - T_o) + r + c_s (T_d - T_e)\}$$

şeklinde yazılabilir. Burada  $Q$  toplam ısı,  $\rho$  yoğunluk,  $c_k$  katı durumda özgül ısı,  $T_e$  erime sıcaklığı,  $T_o$  başlangıç sıcaklığı,  $r$  erime ısı,  $c_s$  sıvı durumda özgül ısı,  $T_d$  döküm sıcaklığıdır.

Bu hesaplama ile ancak yaklaşık değerler elde edilebilir. Çünkü bu bağıntıda bulunan bir çok katsayının tam değerinin bulunması kolay değildir, ayrıca bu değerler gerçekte sabit olmayıp, sıcaklığın bir fonksiyonu olarak değişirler. Ayrıca faz dönüşümleri olabilir; alaşımlarda için erime sabit bir sıcaklıkta değil belirli bir katılma aralığında gerçekleşir ve yukarıda hesaba dahil edilmeyen önemli birçok ısı kaybı mevcuttur.

Döküm sıcaklığı, katılma sıcaklığından yüksek seçilmelidir, ancak sıcaklığın fazla yüksek olması, tane irileşmesi, oksitlenme, gaz çözünmesinin artması, penetrasyon gibi olumsuz etkilere yol açabilir. Bu nedenle döküm sıcaklığı, yeterli olan en düşük sıcaklık olarak seçilmelidir. Bazı döküm alaşımlarının erime ve döküm sıcaklıkları Çizelge 2.1'de görülmektedir.

Çizelge – 2.1. Değişik malzemelerin döküm ve erime sıcaklıkları

MALZEME	KATILAŞMA SICAKLIĞI (°C)	DÖKÜM SICAKLIĞI (°C)
Kır Dökme Demir (%3,5 C)	1175	1250 – 1350
Temper Dökme Demir (%2,8 C)	1250	1325 – 1400
Beyaz Dökme Demir (%3 C)	1240	1280 – 1320
Dökme Çelik (%0,6C)	1475	1550 – 1600
Aluminyum - Silisyum Alaşımı	570	700 – 750
Aluminyum - Bakır Alaşımı	600	700 – 720
Aluminyum Bronzu	1025	1050 – 1150
Pirinç 60/40	890	990 – 1010
Magnezyum Alaşimleri	630	720 – 770

## 2.2 GAZ ÇÖZÜNÜRLÜĞÜ VE GAZ GİDERME



Şekil – 2.1. Metal içinde çözünen gaz miktarının sıcaklık ile değişimi

En uygun eritme koşullarında dahi gazların (özellikle hidrojenin) sıvı metal içinde çözünmesine engel olunamaz. Örneğin hidrojen, havadaki veya ortamdaki nemin, sıvı metalin sıcak yüzeyinde hidrojen ve oksijene ayrışması ile ortaya çıkar ve küçük çaplı

olan bu atom, eriyik içinde kolaylıkla çözünür. Gazların sıvı metal içinde çözünürlüğü basınç ve sıcaklığa çok bağlıdır. Çözünürlük, eriyiğin soğuması ve özellikle katılaşması sırasında büyük oranda düşer (Şeki1 2.1), yani çözünmüş gazların soğuma ve katılaşma sırasında metal eriyiğini terk etmesi gerekir. Katılaşma sırasında açığa çıkan bu gazlar, eriyik dışına kaçamaz ise parça içinde **gözeneklerin ve gaz boşluklarının** oluşmasına ve malzeme özelliklerinin olumsuz etkilenmesine neden olurlar. Şekil 2.1 den de görüldüğü gibi gazın en büyük kısmı katılaşma sırasında açığa çıkar. Örneğin bakır, içinde ağırlık yüzdesi olarak sadece % 0,01 H<sub>2</sub> bulunması durumunda, 1 m<sup>3</sup>'lük bir bakır eriyiğinin içinden 0,3...0,4 m<sup>3</sup> hidrojenin çıkması söz konusudur (kaynama!).

Gazların açığa çıkmasını önleyen bir diğer etken de basınçtır. Yüksek basınç altında sıvı metal içindeki gaz çözünürlüğü yüksek olacağından, örneğin basınçlı döküm yönteminde gazların dışarı kaçması söz konusu değildir. Bu gazlar katılaşma ve soğuma bittikten sonra malzeme içinde hapis kalırlar. Ancak bu tür parçalara sonradan eritme, elektroliz veya ısıtma bir işlem uygulanırsa, malzeme içinde aşırı doymuş olarak kalan bu gazlar kaçmaya çalışacağından kusurlara neden olabilir. Örneğin eritme kaynağı yapılan basınçlı döküm parçalarda dikişler gözenekli olur!

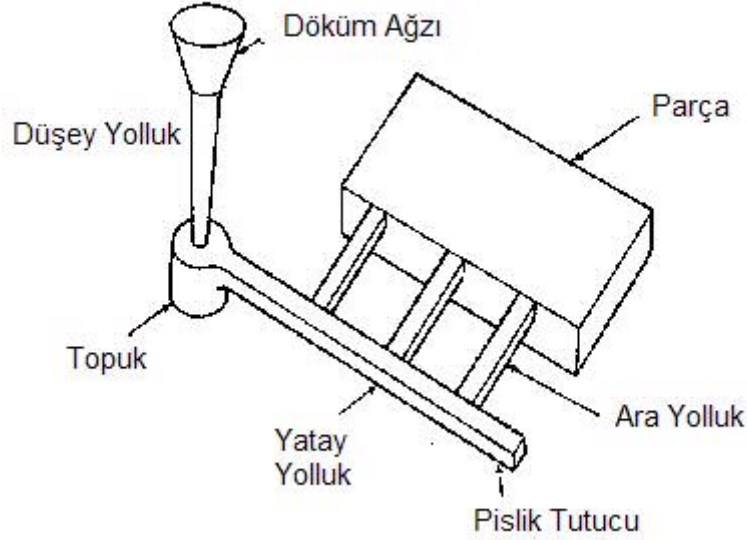
Sıvı metallerde gaz çözünmesini önlemek için dikkat edilmesi gereken hususlar her metal için farklıdır, ancak bazı genel kurallar aşağıda verilmiştir:

- Döküm sıcaklığı mümkün olduğu kadar düşük seçilmelidir.
- Sıvı metal ile temas edecek tüm parçalar kurutulmalıdır.
- Eriyik fazla bekletilmemeli, döküm en kısa sürede yapılmalıdır.
- Eriyik gerekmedikçe karıştırılmamalı ve üzerindeki koruyucu örtü dökümden hemen önce sıyırılmalıdır.

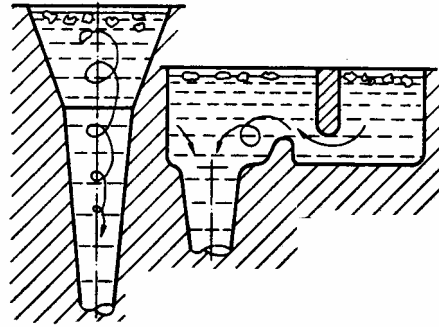
Bütün bu önlemlere rağmen eriyik içindeki gazların çözünmesine tümüyle engel olunamayacağından, gerektiğinde **gaz giderme** işlemleri uygulanabilir. Bu işlemlerde sıvı metal, klor, azot, argon gibi nötr bir gazla süpürülür veya eriyik içine bu tür gazlar açığa çıkaran bir katı maddeler daldırılır. Sıvı metal içinde yükselen gaz habbecikleri, eriyikten çözünmüş gazları ve yüzen oksit ve diğer metal olmayan kalıntıları süpürerek dışarı çıkarır. Gaz gidermede çok etkin, fakat pahalı bir yöntem de metali vakum altında eritmek veya erimiş metali, dökümden önce vakum altına alarak, gazdan arındırmaktır.

## 2.3 KALIBIN DOLDURULMASI VE YOLLUK SİSTEMİ

Sıvı metalin kalıp boşluğuna doldurulmasında yolluk sistemlerinden yararlanır. Bir yolluk sisteminin başlıca bölümleri döküm ağız, düşey yolluk, yatay yolluk ve ara yolluklardır (Şekil 2.2).



Şekil – 2.2. Yolluk sistemi



Şekil – 2.3 Değişik döküm ağızları

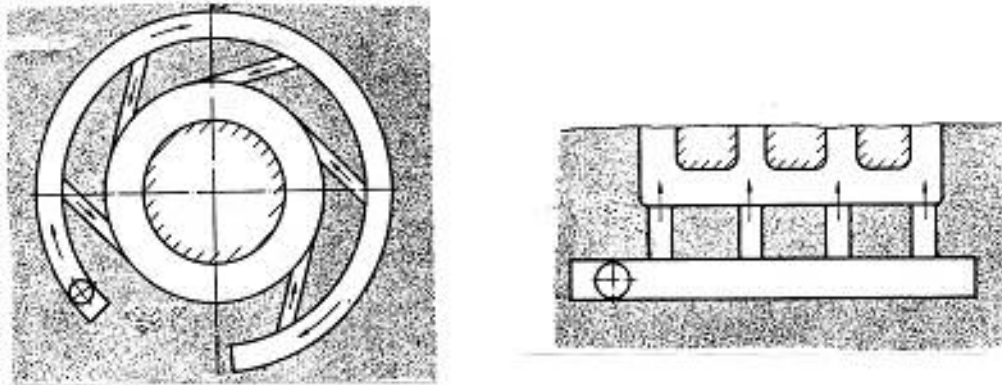
İdeal bir yolluk sisteminin işlevleri şöyle sıralanabilir:

- Kalıbın sıvı metal ile dolmasını sağlar.
- Kalıba dolan metalde türbülans oluşmasını önleyerek, metalin oksitlenmesine, gaz almasına, cürufun ve erozyonla koparılan kalıp parçalarının sıvı metale karışmasına engel olur.
- Sıvı metal içindeki cüruf, köpük, oksit v.b. istenmeyen kısımların kalıp boşluğuna girmesine engel olur.

- Metalin kalıba doluşunu düzenleyerek, yönlenmiş katılaşmayı kolaylaştıran, çarpılmaya neden olmayan bir sıcaklık gradyeni oluşturur.
- Kalıp boşluğunu gereken hızda doldurmaya yetecek kadar büyük, ancak malzeme kaybına neden olmayacak kadar küçük boyutlandırılır.

Kalıp boşluğuna doldurulacak sıvı metal, düşey yolluğun üstünde bulunan **döküm ağzının** içine dökülür. Basit bir huni olarak biçimlendirilen döküm ağızları olduğu gibi, metalin döküldüğü ve kalıba girdiği kısımların tümsek ve perdelerle ayrılarak cüruf, köpük ve havanın düşey yolluğa girmesinin önlendiği biçimler de vardır (Şekil 2.3) . **Düşey yolluk**, aşağıya doğru daralır ve metali **yatay yolluğa** iletir. Düşey yolluk kesiti aşağıya doğru daraltılarak, metalin serbest akmasına, yani hızının giderek artmasına tekabül edecek şekilde biçimlendirilir ve bu şekilde düşey yolluğa hava kaçması önlenir. **Topuk** boyutları ve biçimi, yön değiştirerek yatay yolluğa geçen metalin erozyonla kalıbı bozmasına ve türbülansla gaz almasına engel olacak şekilde düzenlenmelidir. **Yatay yolluk**, uygun konum ve boyutlardaki **ara yolluklarla** kalıp boşluğuna bağlanır. Yatay yolluğun ucunda **pislik tutucu** bulunur. Ara yolluklar, kalıp boşluğunun bir kenarı boyunca sıralanabilir veya tüm çevre boyunca düzenlenebilir (Şekil 2.4).

Ara yollukların konum ve doğrultuları, kalıp boşluğuna giren sıvı metalin maça erozyonuna neden olmasını engelleyecek şekilde düzenlenmelidir. Sıvı metalin kalıba doldurulması işlemi, yer çekimi yardımıyla veya basınç uygulanarak yapılır. En yaygın olarak kullanılan, metalin kendi ağırlığı ile bir yolluk sisteminden geçerek kalıbı doldurmasıdır. Döküm, sürekli ve üniform bir hızla yapılmalı; döküm hızı, döküm süresinin bitiminden sonra katılaşma başlayacak şekilde ayarlanmalıdır. Gerektiğinde birden fazla yolluktan döküm yapılabilir. Döküm hızı eriyiğin kalıba doldurulma hızıdır. Doldurma yavaş olursa kalıp tam dolmadan katılaşma başlar, hızlı olursa türbülans problemleri ortaya çıkabilir. Türbülans önlenmelidir, çünkü metalin atmosferle daha fazla temas ederek oksitlenmesine ve ayrıca kalıp erozyonuna neden olur.



Şekil – 2.4. Ara yollukların düzenlenişi

Sıvı metalin yolluk sistemi içindeki akışı Bernoulli denklemi yardımıyla hesapsal olarak ele alınabilir. Bu bağıntı, sürtünmenin ihmal edilmesi durumunda akan bir sıvıda basınç, hız ve yükselti değişkenleri ile hesaplanan aşağıdaki ifadenin her noktada aynı olduğunu söyler:

$$p + \frac{1}{2} \rho v^2 + \rho gh = \text{sabit} \quad (p:\text{basınç}, v:\text{hız}, \rho:\text{yoğunluk}, h:\text{yükselti})$$

Sistem atmosferik basınç altında ise

$$\frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho gh_1 = \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho gh_2$$

yazılabilir. Bu bağıntı yardımıyla yolluk sisteminin çıkış noktasındaki hız hesaplanabilir. 1 noktası yolluk sistemi girişi, 2 noktası yolluk sisteminin çıkış noktası, düşey yolluk yüksekliği h ise ve başlangıç hızı 0 kabul edilirse

$$v_2 = \sqrt{2gh} \quad \text{bulunur.}$$

Diğer bir bağıntı da süreklilik bağıntısıdır. Tüm yolluk sistemi boyunca kesit değişebilir, ancak süreklilik bakımından debinin sabit kalması gerekir.

$$Q = v_1 A_1 = v_2 A_2$$

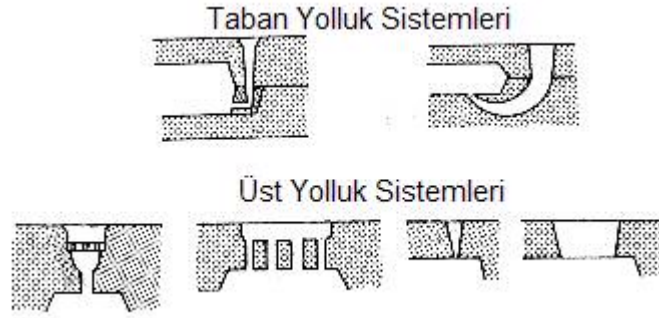
Görüldüğü gibi dökülen sıvı, çıkış noktasına yaklaştıkça hızı artar, yani süreklilik bağıntısına göre yolluk kesitlerinin daraltılması gerekmektedir. Kesit sabit bırakılırsa tüm kesiti sıvı metal dolduramayacağından, yolluk içine hava girer ve sıvı metalle birlikte kalıba dolar. Bunu önlemek için yolluk sisteminin kesitleri v.A çarpımı sabit kalacak şekilde daraltılır.

Döküm sırasında kalıp dolma süresi (KDS) ise aşağıdaki bağıntı ile hesaplanabilir. Doldurulması gereken kalıp boşluğunun hacmi V ise

$$KDS = V/Q = V/(A_2 \sqrt{2gh}) \quad \text{yazılabilir.}$$

Yolluk sistemleri arasında en yaygın olarak kullanılanı **bölüm yüzeyi yolluklarıdır** (Şekil 1.2). Bunun yanında Şekil 2.5 'te bazı örnekleri verilen **taban ve üst yolluk sistemleri** de vardır. Üst yolluk sistemlerinde (açık sistemler) cüruf ve pisliklerin tutulması ile metalin gaz almasının önlenmesi çok güçtür. Taban yolluklarında ise türbülans ve kalıp erozyonu en aza indirilmiştir, ancak kalıplama işlemleri daha güçtür.



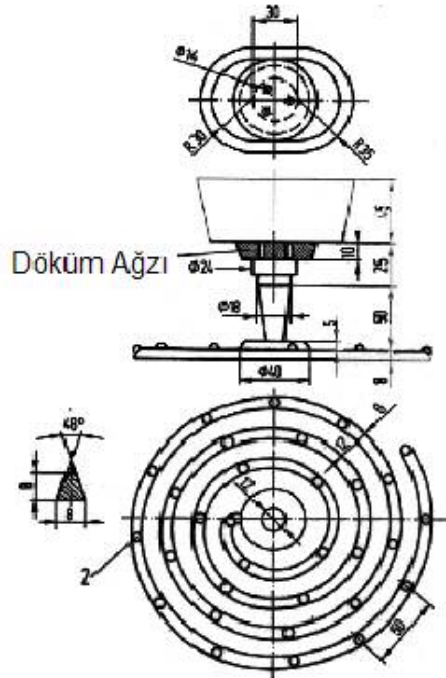


Şekil - 2.5. Taban ve üst yolluk sistemleri

## 2.4 AKICILIK

Metal ve alaşımların yolluk sisteminden akarak, kalıbı kusursuz olarak doldurma özelliği akıcılık olarak adlandırılır. Kalıp içine doldurulan sıvı metalin akıcılığı, malzeme, parça, kalıp ve döküm uygulaması ile ilgili çok sayıda birçok parametreden etkilenir:

- Döküm sıcaklığı,
- Malzemenin ısı özellikleri,
- Kalıp malzemesi ve kalıbın ısı özellikleri,
- Yolluk sistemi,
- Malzemenin kalıp malzemesini ıslatma özelliği
- Parçanın ve kesitlerinin büyüklüğü,
- Eriyiğin ısı içeriği
- Katılaşma türü ve aralığı v.d.



Şekil -2.6: Döküm spirali

Katılma sabit sıcaklıkta ise akıcılık en iyidir (saf ve ötektik alaşımlar). Diğer alaşımlarda ise belirli bir sıcaklık aralığında aynı anda sıvı ve katı fazlar bulunur ve akıcılık olumsuz etkilenir. Döküm sıcaklığının artırılması akıcılığı iyileştirmek için kolay bir çözümdür, ancak yüksek sıcaklıklara çıkılması durumunda, oksit oluşumu, gaz çözünürlüğün artması, penetrasyon gibi birçok olumsuzluğun ortaya çıkacağı unutulmamalıdır.

Malzemelerin akıcılık özelliğinin saptanması için kullanılan en yaygın pratik deney "döküm spirali" dir, Şekil 2.6. Döküm spiraline belirli koşullar altında dökülen sıvı metalin spiral içinde ilerlediği uzunluk, eriyiğin döküm kabiliyetinin bir ölçüsü olarak kullanılır.

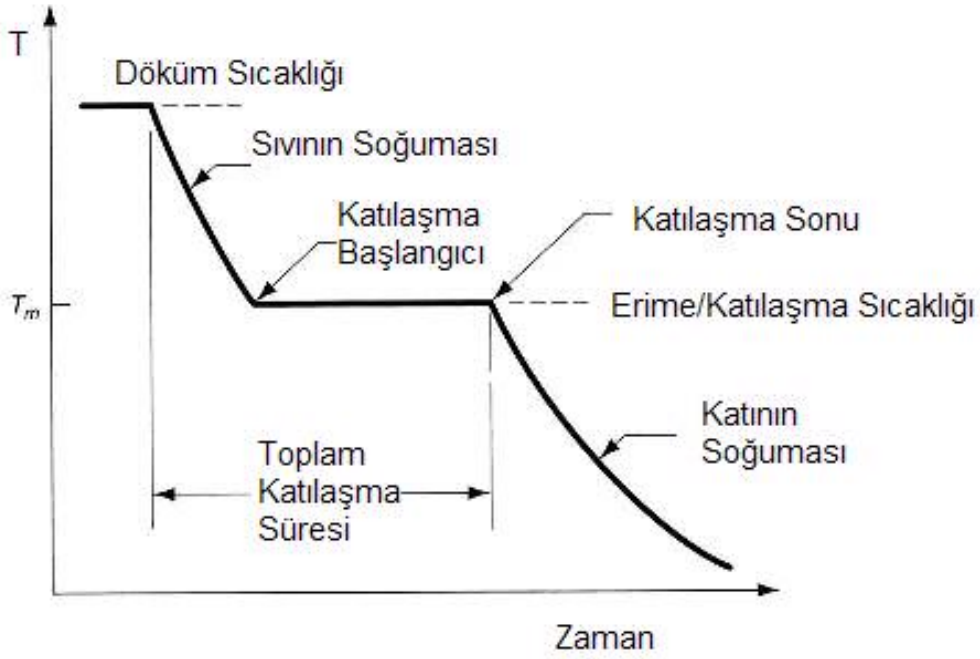
## 2.5 KATILMA

Metal malzemelerin özellikleri büyük ölçüde katılma sırasında oluşan ıyapı ile belirlenir. Dolayısıyla özellikle döküm malzemelerin özelliklerinin kontrol edilebilmesi için katılma olayının (kristalleşme) iyi bilinmesi gerekir. Bir sıvı metalin katılması **birincil kristalleşme (katılma)** ve bu sırada oluşan katılma ıyapısı (döküm ıyapısı) **birincil ıyapı** olarak adlandırılır. Döküm parçalarda birincil ıyapı, parça ömrü boyunca hiç değişmeyeceğinden katılma olayının çok iyi kontrol edilmesi zorunludur.

Haddeleme, dövme gibi plastik şekil verme yöntemleri sonrasında bu ıyapı ısı veya termomekanik işlemler (örneğin normalizasyon, sıcak şekil verme gibi) ile yeniden oluşturulabilir (yeniden kristalleşme) ve bu şekilde ortaya çıkan ıyapı **ikincil ıyapı** olarak adlandırılır. Döküm parçalarda bu imkan genellikle olmadığından katılmanın iyi kontrolü ile uygun bir birincil ıyapının elde edilmesi çok önemlidir.

### 2.5.1 Saf Metallerde Katılma

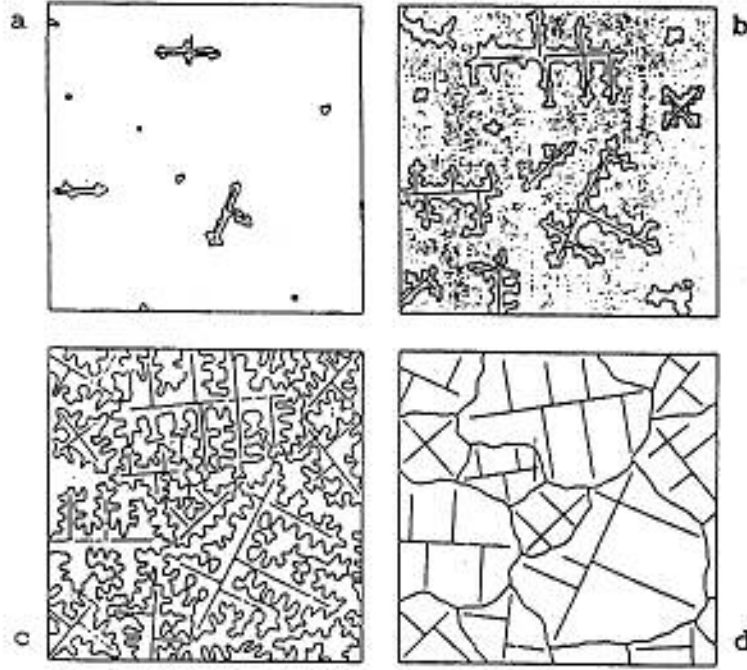
Sıvı metal içindeki atomlar düzensiz (amorfe) halde olup, sürekli olarak hareket ederler. Soğuma sırasında ısının uzaklaştırılması ile eriyiğin enerjisi giderek azalır. Saf metallerde katılma sabit sıcaklıkta olur. Bu sıcaklığa inildiğinde, eriyik içinde kristalleşme merkezi veya çekirdek denilen bir takım düzenli atom grupları oluşmaya başlar ve eriyiğin diğer atomları zamanla bunlara eklenerek taneler ortaya çıkar. Dolayısıyla katılma olayı, yani ıyapıdaki tanelerin ortaya çıkışı, **çekirdeklenme ve kristal büyümesi** diye iki safhaya ayrılabilir. Her biri ayrı bir çekirdek etrafındaki büyüme sonucu meydana gelen taneler, metal malzemenin ıyapısını oluşturur, Şekil 2.8.



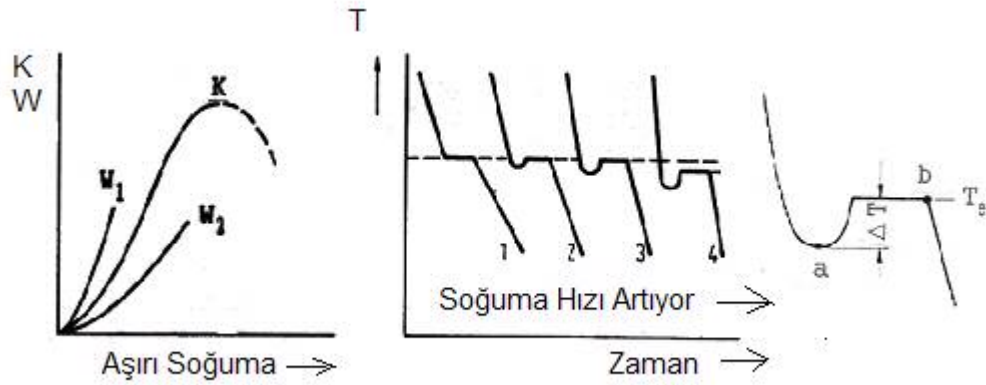
Şekil 2.7: Saf bir metalin soğuma eğrisi

### Çekirdeklenme

Çekirdekler çok küçük katı parçacıklar olup kararlılıkları, yani tekrar erimeden büyümeye devam etmeleri, ancak yeterli bir büyüklüğe sahip olmalarına bağlıdır. Bu durum, serbest enerji yardımıyla açıklanabilir. Herhangi bir olayın kendiliğinden devam edebilmesi için, bu olayla ilgili serbest enerji toplamının azalması gerekir. Katı durum, sıvıya göre daha düşük enerjili olduğundan, eriyikte katı parçacıkların oluşması sırasında kristalleşme ısı açığa çıkar. Öte yandan yeni yaratılan sıvı/katı ara yüzeylerinin oluşumu için enerjiye ihtiyaç vardır ve açığa çıkan enerji burada kullanılır. Dolayısıyla çekirdeklenme sırasında sistemin serbest enerjisi kristalleşme nedeniyle azalırken, yaratılan yeni yüzeyler dolayısıyla artma eğilimindedir. Çekirdekler çok küçük iken yüzeyleri hacimlerine oranla büyüktür ve kristalleşme sırasında açığa çıkan enerji, bu yüzeylerin yaratılması için yeterli olmaz. Çekirdek yarıçapı kritik bir  $r_0$  değerine ulaştığında, artı ve eksi işaretli enerji değişimleri birbirine eşit olur ve bu  $r_0$  değerinden daha büyük yarıçaplı çekirdeklerde açığa çıkan enerji yüzeylerin yaratılması için gereken enerjiden büyük olacağından ve dolayısıyla toplam serbest enerji katılma ile azalacağından katılma olayı kendiliğinden devam eder. Özetle çekirdek tekrar erimeden, kristalin büyümeye devam edebilmesi için, en az  $r_0$  yarıçapına ulaşmış bulunması, veya diğer bir deyişle söz konusu yarıçapa ulaşana kadar gerekli aktivasyonun dışardan sağlanmış olması zorunludur.



Şekil – 2.8 Katılaşma sırasında (a) çekirdeklenme, (b,c) dendritik büyüme, (d) katılaşma cephelerinin birleşmesi ile oluşan taneler ve tane sınırları.



Şekil – 2.9 a) Aşırı soğumanın ( $\Delta T$ ), birim zamanda oluşan çekirdek sayısı (K) ve büyüme hızına (W) etkisi  
b) Saf metallerde artan soğuma hızının aşırı soğuma miktarına etkisi

### Homojen çekirdeklenme

İçinde çekirdek görevi yapabilecek parçacıklar (karbür, nitrür, oksit ve diğer katı bileşikler gibi) bulunmayan ideal ve homojen bir eriyikte kararlı çekirdeklenmeye ilişkin aktivasyon enerjisi, eriyiğin kendi enerji içeriğinden karşılanmalıdır. Bu nedenle **homojen çekirdek oluşumu (öz çekirdeklenme)** için bir miktar ısı aşırı soğuması ( $\Delta T$ )

gereklidir. Yani eriyik katılaşmaya  $T_e$  erime sıcaklığında değil, daha düşük bir  $T = T_e - \Delta T$  sıcaklığında başlar.

Aşırı soğumanın ( $\Delta T$ ) artırılması ile, birim zamanda oluşan çekirdek sayısı ( $K$ ) yükselir (Şekil 2.9a). Ancak sıcaklığın çok düşmesi halinde bu kez atomların hareketleri çok yavaşlayacağından, bunların yan yana gelip çekirdek oluşturması güçleşir ve aşırı soğuma çok artarsa  $K$  değerinde tekrar düşme görülür.

Birincil içyapının tane büyüklüğü, hem birim zamanda oluşan çekirdek sayısına ( $K$ ) ve hem de kristallerin büyüme hızına ( $W$ ) bağlıdır.  $K$  ne kadar büyük ise, o kadar ince taneli bir içyapı oluşur. Kristal büyüme hızının ( $W$ ) çok büyük olması halinde ise ilk oluşan çekirdekler büyüyerek tüm içyapıyı kaplayacağından yeni çekirdek oluşumuna zaman kalmaz ve içyapı daha kaba taneli olur. Şekil 2.9a'da  $W_2$  olarak gösterilen büyüme hızına sahip malzemenin içyapısı  $W_1$ 'inkine oranla daha küçük tanelidir.

Teknikte kullanılan döküm alaşımlarında soğuma hızı kontrol edilerek içyapıdaki tane büyüklüğü büyük ölçüde ayarlanabilir. Soğuma hızlı ise (örneğin kokil kalıba döküm) aşırı soğuma miktarı ve dolayısıyla çekirdek sayısı artar. Daha yavaş soğuyan kum kalıba dökümde ise durum bunun tam tersidir. Ayrıca bir parçanın farklı bölgelerinde farklı soğuma koşullarının bulunması, aynı parça içinde farklı özelliklere sahip içyapıların ortaya çıkmasına neden olacaktır.

Şekil 2.9b'de saf metallerde soğuma hızının aşırı soğumaya ( $\Delta T$ ) olan etkisini özetlenmektedir. Eğrinin (a) noktası çekirdek oluşumunun, yani kristalleşmenin başlangıcını temsil etmektedir. Açığa çıkan kristalleşme ısı nedeniyle sıcaklık, erime sıcaklığına kadar artar. Daha sonra  $T_e$  sıcaklığı sabit kalarak katılaşma devam eder ve (b) noktasında sona erer.

### Heterojen Çekirdeklenme

Teknik saflıktaki sıvı metallerin içinde hemen her zaman kristalleşmenin başlayabileceği yeterli sayıda "yabancı yüzey" bulunduğundan, çekirdeklenme yukarıda anlatılan öz çekirdeklenme (homojen) ile değil, **heterojen çekirdeklenme** yoluyla gerçekleşir. Çekirdek olarak görev yapabilecek bu "yüzeyler" şunlar olabilir:

- Eriyiğin içinde bulunduğu kabın duvarları (örneğin dökümde kalıp yüzeyleri),
- Erime sıcaklığı yüksek olan ve eriyik içinde katı halde bulunan bileşikler (karbürler, nitrürler, oksitler),

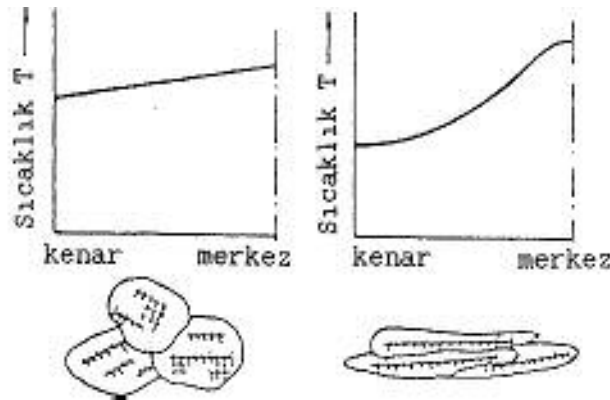
- Bazı durumlarda eriyiğe döküm sırasında katkılar yapılarak çekirdek görevi yapacak parçaların varlığı sağlanır ve bu şekilde ince taneli bir içyapı garanti edilir. Bu işleme **aşılama** adı verilir.

### Kristal Büyümesi

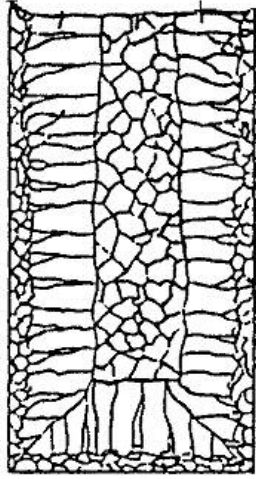
Çekirdek oluşumundan sonra bu çekirdeklere diğer atomların düzenli olarak eklenmesi ile katılma olayı devam eder. Kübik kristale sahip olan metallerde büyüme, bazı tercihli yönlerde (küp yüzeyine dik doğrultularda) çok hızlı, diğer yönlerde ise daha yavaş olur ve bu şekilde büyüyerek ortaya çıkan kristallerin hacımsal düzeni **dendrit** olarak adlandırılır.

Yapılan araştırmalar, kristalleşme biçimlerinin büyük oranda soğuma koşullarına bağlı olduğunu ortaya koymuştur. Eriyik ısının her taraftan uzaklaştırılması ile soğursa eşeksenli, yani toparlak taneler, düzgün olmayan (yönlenmiş) ısı iletiminde ise **uzun (çubuksu) taneler** meydana gelir (Şekil 2.10). Çekirdeklenme ve dendritik büyüme ile kristalleşme cephelerinin birbiriyle birleşmesi sonucu içyapının ortaya çıkışı Şekil 2.8'de şematik olarak gösterilmiştir.

Döküm parçaların içyapısı da, katılmadaki soğuma koşulları ile belirlenir. Burada üç ayrı bölge söz konusu olabilir. Kalıp cidarlarında ani soğuma (chill) etkisi ile küçük ve eşeksenli tanelerden oluşan bir kabuk, bunu izleyen bölgede sıcaklık gradyeninin etkisiyle uzun çubuksu taneler, orta kısımda ise soğuma her taraftan olduğundan, tekrar eşeksenli taneler görülür (Şekil 2.11).



Şekil – 2.10 Soğuma sırasında sıcaklık gradyeninin tane oluşumuna etkisi.



Şekil - 2.11

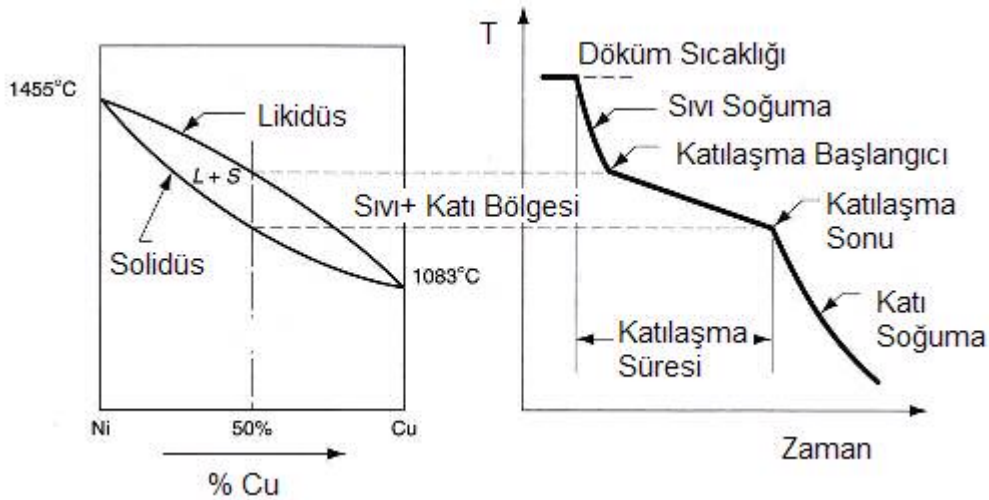
Kalıp içinde katılaşmada farklı bölgelerin tane biçimleri

(a) Hızlı soğuma etkisiyle oluşan küçük ve eşksenli tanelerin bulunduğu kabuk

(b) Sıcaklık gradyeni etkisiyle oluşan uzun çubuk taneler

(c) Soğumanın her taraftan olması ile ortaya çıkan eşksenli taneler

## 2.5.2 Alaşımlarda Katılaşma

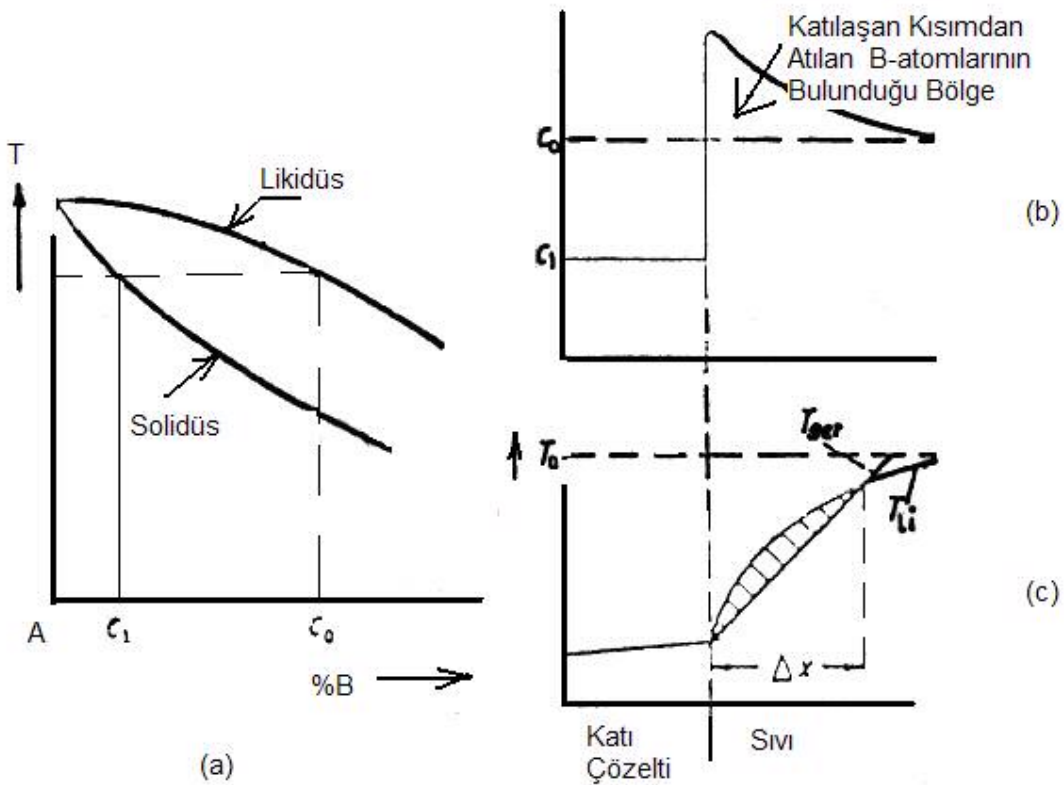


Şekil 2.12: Cu-Ni sisteminin faz diyagramı ve %50'lik alaşımın soğuma eğrisi

En az iki tür atomun birlikte bulunduğu alaşımların katılaşması saf metallere göre daha farklı olup, katılaşma olayı belli bir sıcaklık aralığında (Sıvı + Kati bölgesi) gerçekleşir. Alaşımlar arasında sadece ötektik bileşime sahip alaşımlar sabit sıcaklıkta katılaşır ve bu bölümde açıklanan bir çok olumsuzluk bu bileşimlerde görülmez. Döküm malzemesi olarak ötektik bileşimlerin tercih edilmesinin temel nedeni budur.

Alaşımların kendilerine özgü katılaşmalarında sıvı/kati ara yüzeyinde bileşim farklılıkları ortaya çıkar. Şekil 2.13'deki faz diyagramından da görüldüğü gibi eriyik  $T_0$  sıcaklığına

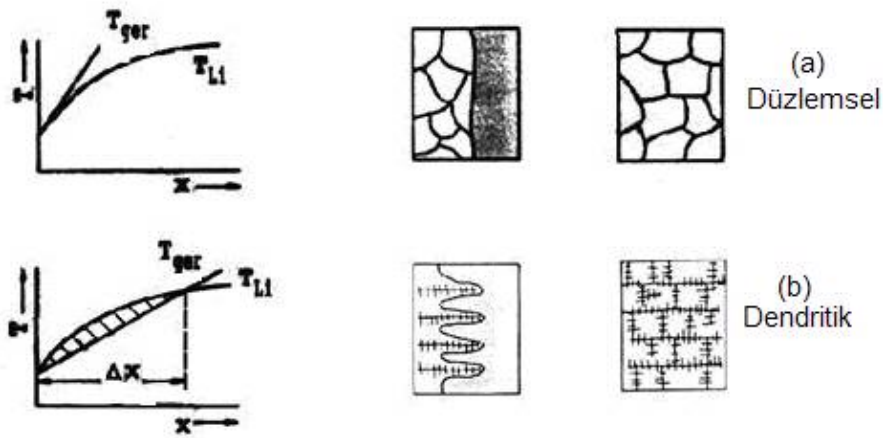
soğutulduğunda, katılaşılan ilk katı çözelti kristallerinin (Şekil 2.13a) B-atomu yüzdesi ( $c_1$ ), eriyiğin ortalama değerinden ( $c_0$ ) çok daha düşüktür. Yani ilk kristalleşen katıda B atomları yüzdesi düşük olmaktadır. Bu ilk kristalleşmeden arta kalan B-atomları eriyiğe geçeceklerinden, katılaşmanın devam edeceği ara yüzey civarındaki eriyik, B-atomu bakımından zenginleşir (Şekil 2.13b). Alaşımın ortalama bileşimine göre daha fazla B-atomu içeren ( $c > c_0$ ) bu eriyik tabakasında katılaşmanın başlayacağı likidüs sıcaklığı ( $T_{Li}$ ) ise B yüzdesi yüksek olduğu için eriyikten daha düşük ( $T_{Li} < T_0$ ) hale gelir. Şekil 2.13c'de bu değişimi gösteren eğri ile eriyik içindeki gerçek sıcaklık dağılımı (gradyeni)  $T_{ger}$  birlikte görülmektedir. Eriyik içinde katılaşma cephesine yakın bölgelerde de gerçek sıcaklık  $T_{ger}$ , soğuma nedeniyle  $T_0$ 'dan daha düşük olup bir sıcaklık gradyeni sözkonusudur. Bu gradyeni belirleyen parametrelerin başlıcaları: döküm sıcaklığı, kalıp sıcaklığı, eriyiğin ısı içeriği ve kalıbın ısı uzaklaştırma özellikleridir. Sonuçta bu iki eğrinin kesişme noktasından sıvı /katı arayüzeyine kadar ( $\Delta x$ ) kalınlığındaki bölgede alaşımın gerçek sıcaklığı ( $T_{ger}$ ), katılaşmanın başlayacağı likidüs sıcaklığından ( $T_{Li}$ ) daha düşük olduğu, yani bir aşırı soğumanın varlığı görülmektedir (Şekil 2.13c). Bu bölgede malzemenin katılaşması için koşullar hazırdır ve katılaşma cephesi hızla ilerleyebilir. Katılaşmadaki derişiklik farkları nedeniyle oluşan bu olay, **yapısal aşırı soğuma** adını alır ve alaşımlarda ısı aşırı soğumaya göre çok daha büyük önem taşır.



Şekil – 2.13 Metal eriyiklerinde yapısal aşırı soğuma



Bir eriyiğin soğuma hızı, yani eriyik içindeki gerçek sıcaklık dağılımı (gradyeni), yapısal aşırı soğuma bölgesinin büyüklüğünü belirler ve farklı soğuma koşullarında birbirinden çok farklı özelliklerde içyapılar ortaya çıkar. Eğer ısı iletimi, yapısal aşırı soğuma bölgesi yaratmayacak şekilde yavaş olursa, **düzlemsel katılaşma** meydana gelir (Şekil 2.14a). Burada çabuk büyüme eğilimindeki herhangi bir kristal, önündeki yüksek sıcaklık bölgesi tarafından engelleneceğinden, kristalleşme hızı düşük ve cephenin her noktasında aynı olur. Teknik uygulamalarda genellikle yapısal aşırı soğuma hemen her zaman vardır. Eriyik geniş bir  $\Delta x$  bölgesinde aşırı soğuduğundan, bu bölge içine katılarak uzamış her kristal, ısının çekildiği yönde daha hızlı olarak büyümesine devam eder ve sonuçta dendritik bir içyapı oluşur.



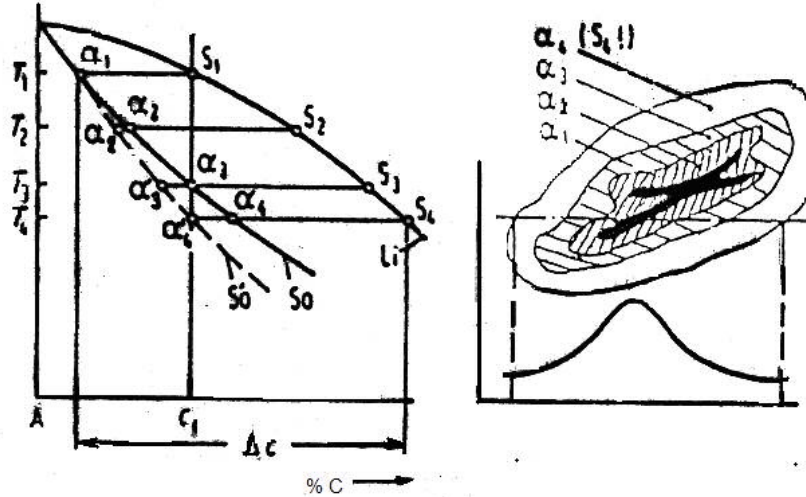
Şekil – 2.14 Katılaşma cephesi ve içyapının yapısal aşırı soğumayla olarak değişimi

- Soğuma yavaş,  $T_{ger}$  gradyeni dik  $\gg$  düzlemsel katılaşma
- Soğuma hızlı,  $T_{ger}$  gradyeni yatık  $\gg$  dendritik katılaşma

### Mikrosegregasyon:

Alaşımın katılaşması sırasında bileşim farklılıklarının ortaya çıkışının bir diğer sonucu da, katılan taneler içinde çekirdekten dışarı doğru derişikliğin değişmesidir. Bu olaya **mikrosegregasyon** (kristal segregasyonu), ortaya çıkan içyapıya da **tabakalı katı çözelti** denir. Şekil 2.15'teki L alaşımı, sıvı durumdan soğutulurken  $T_1$  sıcaklığında oluşan ilk katı çözeltinin bileşimi  $\alpha_1$  olur.  $T_2$  sıcaklığında inildiğinde ise, faz diyagramına göre o anda katılanlar ve daha önce ayrılmış katı çözeltilerin tümünün ortalama bileşimi  $\alpha_2$  olmalıdır. Bunun gerçekleşmesi için bir miktar B-atomunun yayınma yolu ile önceden ayrılmış  $\alpha_1$ 'e ulaşarak içinde çözünmesi zorunludur. Ancak soğuma hızlı olduğundan ve yayınma için gerekli zaman bulunmadığından, bu kütle transferi genellikle gerçekleşemez. Yani ilk ayrılan  $\alpha_1$ -katı çözeltileri,  $\alpha_2$  bileşimine ulaşamazlar.  $T_2$  sıcaklığında oluşan  $\alpha_2$  katı

çözültisi kristalleri,  $\alpha_1$  çekirdeklerinin çevresine tabakalar halinde yerleşirler. Böylece tüm katı çözültinin ortalama bileşimi yaklaşık  $\alpha_1'$  civarında olur. Katılaşma olayının bitmesi gereken  $T_3$  sıcaklığında da ortalama bileşim  $\alpha_3$  değil,  $\alpha_3'$  değerindedir, yani kaldırma kuralına göre geriye bir miktar  $S_3$  eriyiğinin kalması



Şekil - 2.15 İki bileşenli alaşımlarda mikrosegregasyon oluşumu

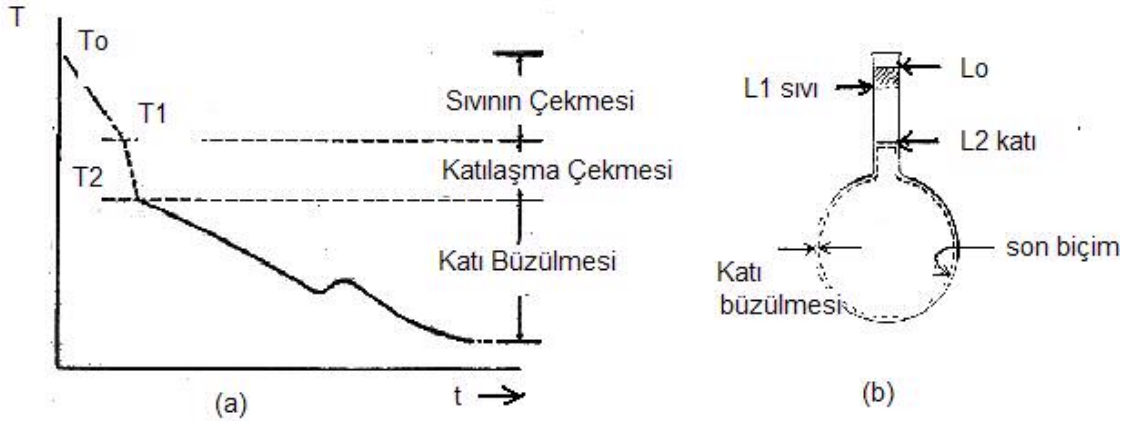
söz konusudur. Bu nedenle eriyik katılaşmasını solidüs sıcaklığının altındaki sıcaklıklarda tamamlayabilir (solidüs sürüklenmesi). Son olarak tanelere  $T_4$  sıcaklığında  $\alpha_4$  katı çözültisi tabakaları eklenir, bu tabakanın B-atomu derişikliği başlangıçta sıvının bileşiminden daha yüksektir. Ancak bu şekilde tanelerin ortalama bileşimi ilk eriyiğin derişikliğine ulaşır ( $\alpha_4' = c_0$ )

Katılaşma aralığı olan her alaşımın döküm yapısında görülebilen mikrosegregasyon veya tabakalı katılaşma olarak adlandırılan bu olay, istenmeyen özellik derişimlerine neden olur. Bu olumsuzluk,

- Katılaşma aralığı ne kadar büyük,
- Soğuma ne kadar hızlı,
- Olaya katılan elemanların yayınma katsayıları ne kadar düşük ise, o kadar belirgin olarak ortaya çıkar.

Katı çözültülerin tabakalı olarak katılaşması sonrasında, mikrosegregasyonun malzeme özelliklerindeki olumsuz etkilerini gidermek için solidüs sıcaklığının hemen altında bir homojenleştirme tavı uygulanabilir. Ancak tutma süresi çok uzun olan bu ısıl işlem, ekonomik nedenlerle çok zorunlu durumlarda uygulanır.

### 2.5.3 Katılaşma Sırasında Oluşan Hacim Azalmaları



Şekil - 2.16 a) Katılaşma sırasında hacim değişimleri (çelik)  
b) Çekme ve büzülme olaylarının şematik gösterilişi

Katılaşma ve soğuma sırasında bazı özel durumların dışında metallerde daima hacim azalmaları söz konusudur. Bu hacim azalmaları üç aşamada oluşurlar (Şekil 2.16):

**a) Sıvının Kendini Çekmesi ( $T_0 - T_1$ ):** Döküm sıcaklığından itibaren katılaşmanın başlayacağı sıcaklığa kadar olan soğuma sırasındaki hacim azalmasıdır.

**b) Katılaşma Çekmesi ( $T_1 - T_2$ ):** Sıvı/katı dönüşümü sırasında atomların yeniden düzenlenmesi ile ortaya çıkan hacim azalmasıdır.

**c) Katının Büzülmesi ( $T_2 - \text{Oda Sıc.}$ ):** Katılaşmasını tamamlamış parçanın oda sıcaklığına kadar soğuması sırasındaki hacim azalmasıdır.

Sıvının kendini çekmesi ve katılaşma çekmesi nedeniyle **döküm boşlukları, gözenekler, sıcak yırtılmalar ve iç gerilmeler** gibi sorunlar ortaya çıkabilir. Katının büzülmesi ise parçanın küçülmesine, yani **boyut değişimlerine** neden olur, fakat bu durum kalıp boşluğunu oluşturmak için kullanılan modellerin boyutlandırılması sırasında dikkate alınarak istenilen so boyutların elde edilmesi kolaylıkla sağlanır. Ancak katılaşmış parçanın kalıp içinde büzülmesi serbestçe gerçekleşemez ise **çarpılmalar, çatlaklar ve iç gerilmeler** ortaya çıkacaktır.

Çizelge 2.1 : Bazı malzemeler için katılaşma sırasında oluşan hacim azalmaları

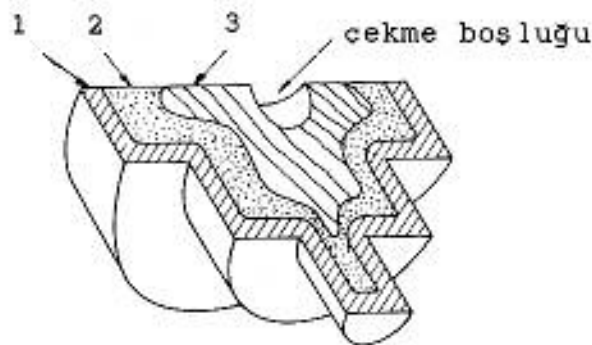
MALZEME	Katılaşma Çekmesi (%)	Katının Büzülmesi (%)
Kır dökme demir	1,8	3,0
Basit karbonlu çelik	3,0	7,2
Aluminyum alaşımları	7,0	5,0
Bakır alaşımları	5,0	6,0

Kalıp içine dökülmüş metalin katılaşması, önce ısının hızla uzaklaştırıldığı cidarlarda katı bir kabuğun oluşumu ile başlar ve bu kabuğun kalınlaşması ile devam eder (Şekil 2.17). En son katılaşılan bölgede ise hacim azalmaları nedeniyle bir **çekme boşluğu** oluşur. Hacim azalması çok az ve son katılama bölgesi iç kısımda ise, boşluk yerine **sıcak yırtılma veya iç gerilmeler** meydana gelebilir.

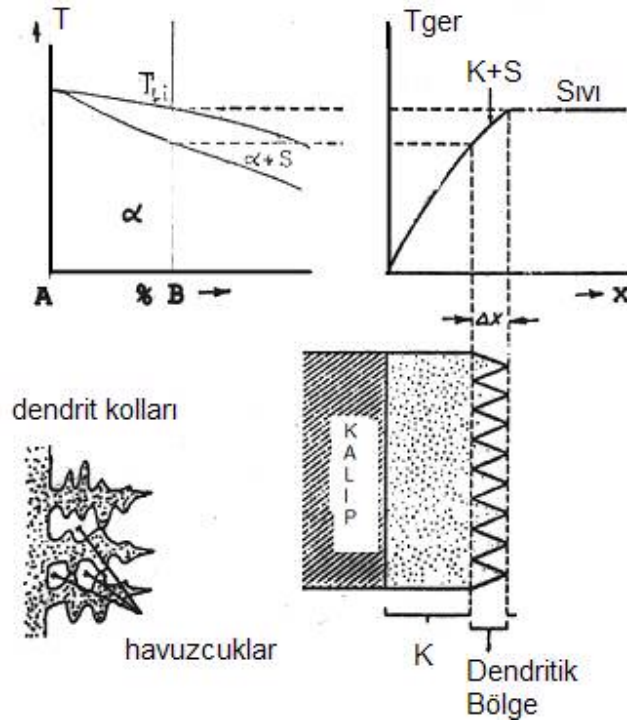
Alaşımlarda sıvı/katı dönüşümü  $T_{Li}$  ile  $T_{So}$  arasındaki sıcaklık aralığında gerçekleştiğinden, katılama cephesinde sıvı ve katı fazların birlikte görüldüğü bir katılama bölgesi ( $\Delta x$ ) söz konusudur (Şekil 2.18). Kristal büyümesi dendritik ise katılaşılan dendrit kolları arasında küçük sıvı metal havuzcukları hapsolacak ve bu havuzcuklardaki katılama sonrasındaki çekme boşlukları **mikrogözenekler** olarak ortaya çıkacaktır.

Mikrogözeneklerin miktarı, katılama cephesinin genişlemesiyle artar. Sıvı ile katının birlikte bulunduğu bu bölgenin dar olması için:

- Katılama aralığı dar olmalıdır. Dolayısıyla döküm malzemesi olarak örneğin ötektik bileşimdeki alaşımlar tercih edilmelidir.
- Isı uzaklaştırılması yavaş, yani sıcaklık gradyeni dik ise yapısal aşırı soğumanın sözkonusu olduğu katılama cephesi ortadan kalkar veya genişliği azalır ve mikrosegresasyon önlenir. Sözkonusu sıcaklık gradyenini kontrol eden parametrelerin başlıcaları: döküm sıcaklığı, kalıp sıcaklığı, eriyiğin ısı içeriği ve kalıbın ısı uzaklaştırma özellikleridir.



Şekil – 2.17 Katılama sırasında çekme boşluğu oluşumu

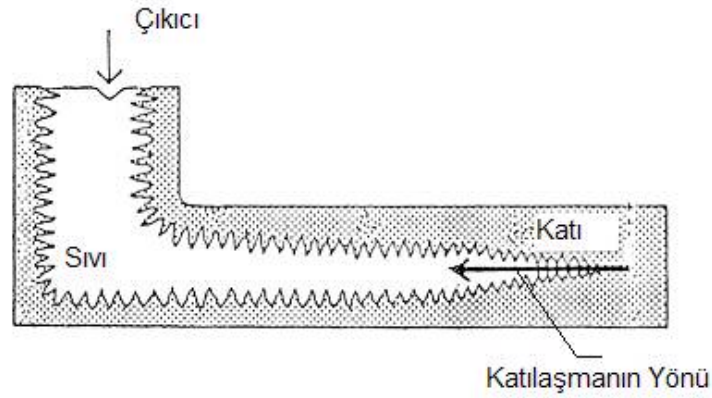


Şekil - 2.18 Alaşımlarda katılaşma cephesi

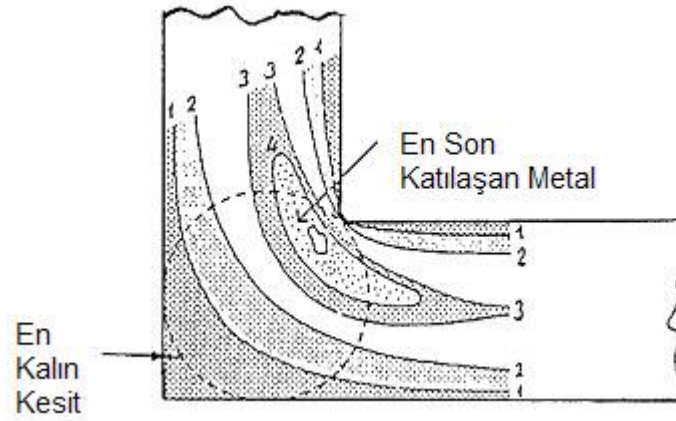
### 2.5.4 Kalıp İçinde Katılaşmanın Yönlendirilmesi

Kalıp içine doldurulan sıvı metalin tümü aynı anda katılaşmaz. Katılaşmanın hangi bölge veya bölgelerde başlayıp, nasıl ilerleyeceği ve nerede son bulacağı **çekme boşluklarının** oluşacağı yerleri belirler. Kalıbın ısı uzaklaştırma özellikleri her yerde aynı ise, katılaşma öncelikle soğumanın hızlı olduğu ince kesitlerde başlar ve bu sırada oluşan hacim azalmaları nedeniyle o ana kadar katılaşmamış olan kalın kesitlerdeki sıvı metal bu bölgeleri besler. İyi tasarlanmış bir kalıpta, katılaşma kalın kesitlerin ince kesitleri beslemesiyle kademeli olarak ilerlemeli ve en son katılaşan bölgelerin dışa açık olan yolluk ve çıkıcılarda kalması sağlanmalıdır. Böylece çekme boşluğu veya diğer kusurların parça içinde oluşması önlenir. Döküm kalıplar için çok önemli olan bu tasarım prensibi, **katılaşmanın yönlendirilmesi** olarak adlandırılır (Şekil 2.19). Döküm yöntemiyle üretilecek parçaların tasarımında da boyutlandırma ve biçimlendirmelerde bu durum dikkate alınmalıdır.

Katılaşmada en sorunlu bölgelerden biri de köşelerdir. Birleşme noktasındaki kesit, genellikle birleşen kesitlerden büyük olduğundan, bu bölgeler en son olarak katılaşır ve iç kısımlarında çekme boşlukları oluşabilir (Şekil 2.20). Dolayısıyla bu bölgelerde ya kesit inceltmeli, ya da soğutma plakaları yardımıyla buralarda soğuma hızlandırılarak katılaşmanın köşelerden başlaması ve kollara doğru devam etmesi sağlanmalıdır.



Şekil - 2.19 Yönlendirilmiş katılaşma

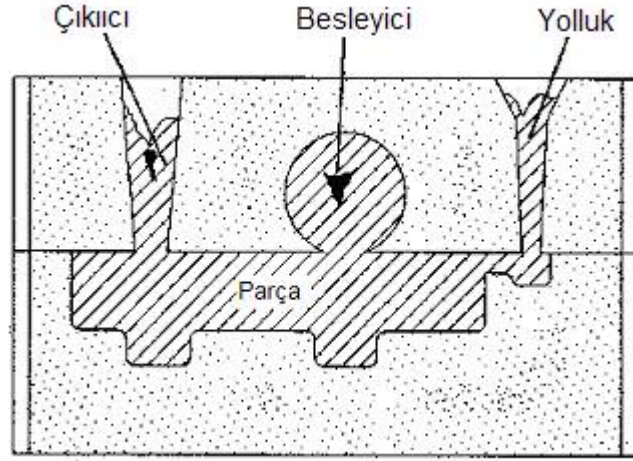


Şekil - 2.20 Köşelerde katılaşma

Parça geometrisi nedeniyle kalıp içindeki katılaşmanın istenildiği gibi yönlendirilmesinin mümkün olmadığı durumlarda, katılaşmanın istenen bölgelerde başlayıp istenilen yerlerde sonlanması için soğutma plakalarından, veya çekme oluşabilecek yerlerin sıvı metal ile beslenebilmesi için çıkıcı ve besleyicilerden yararlanır.

### Çıkıcı ve Besleyiciler

Çıkıcı ve besleyicilerin görevi, kalıp içinde katılaşan parçanın iç ve dış çekme boşlukları oluşabilecek bölgelerini sıvı metal ile beslemektir. Yani **çıkıcı ve besleyiciler, sıvı metal depoları olup en son katılaşacak bölgeler olarak tasarlanmışlardır**. Çıkıcılar atmosfere açık, huni biçiminde; besleyiciler ise dışarıya kapalı ve genellikle küresel kalıp elemanlarıdır (Şekil 2.21). Besleyiciler biçimleri gereği daha yavaş soğuduklarından, döküm sonrasında parçadan ayrılmaları daha kolay olduğundan ve kalıbın istenilen her bölgesine yerleştirilebildiklerinden daha çok tercih edilirler.



Şekil - 2.21 Çıkıcı ve besleyiciler

Çıkıcı ve besleyicilerin hacmi ve şeklini, sıvı metal ile besleyecekleri bölgenin büyüklük ve biçimi belirler. Çıkıcı veya besleyiciler her zaman en son katılacak bölgeler olmalı, yani bunların katılma süresi besledikleri bölgenin katılma süresinden daha uzun olmalıdır. Kalıp içinde soğuyan bir parçanın tümünün veya belirli bir bölgesinin katılmasının tamamlanması için gereken süre Chvorinov kuralı olarak tanınan bağıntı ile hesaplanabilir:

$$KS = C_k (V/A)^n$$

Burada KS katılma süresi,  $C_k$  kalıp katsayısı, V katılacak parçanın hacmi, A ise katılacak parçanın yüzey alanıdır. Görüldüğü gibi parça geometrisi bakımından katılma süresini parçanın V/A (hacim/soğuma yüzeyi) oranı belirlemektedir, dolayısıyla bu oran




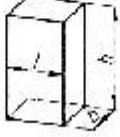
$$M = V / A$$

**katılma modülü** olarak adlandırılabilir. Diğer koşulların aynı kalması durumunda M değeri büyüdükçe katılma süresi artar. Çizelge 2.2'de bu modülün değişik geometriler için hesaplanmış değerleri verilmektedir. Çıkıcı ve besleyicilerin besledikleri bölgelerden daha geç katılmaları gerektiğinden, katılma modülleri daha büyük olmalı, yani

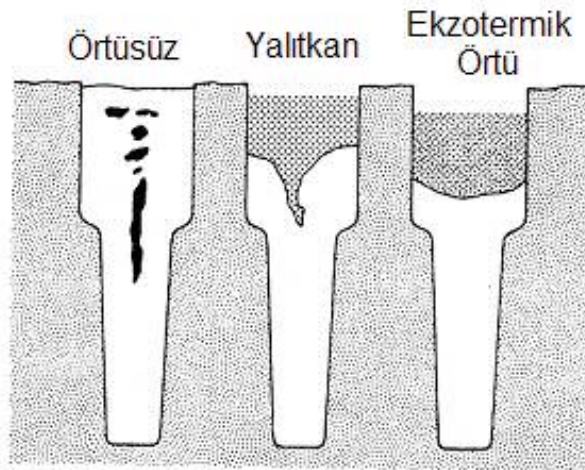
$$M_{\text{besleyici}} > M_{\text{parca}} \quad \text{olarak seçilmelidir.}$$

Çizelge-2.2: Değişik geometrilere sahip parçaların katılma modülleri



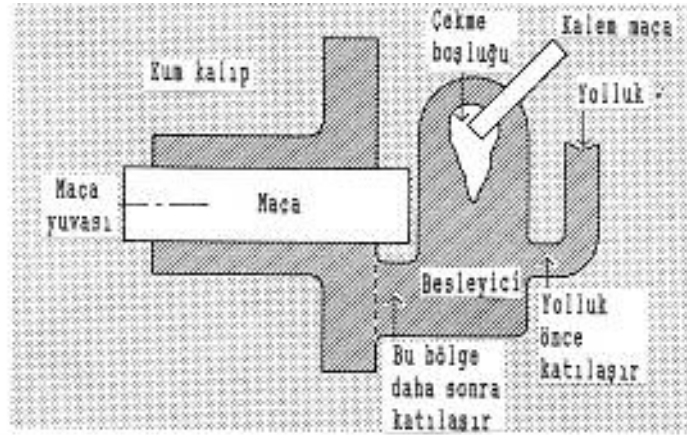
	M		M
	$d/6$		$\frac{d \cdot h}{2d+4h}$
	$l/6$		$\frac{l \cdot b}{2(l+h)}$

Besleyici ve çıkıcıların, katılaştırken hacmi azalan parçayı sıvı metal ile besleyebilmeleri için atmosfer basıncı ile sürekli temasta olmaları gereklidir. Bu nedenle çıkıcının üstünde bir kabuk oluşmaması için yalıtkan veya egzotermik örtülerden yararlanır (Şekil 2.22). Besleyicilerde dış kısımda daima bir kabuk oluşur, bu nedenle besleyicinin atmosfer basıncı ile temasını sağlamak için de kalem maçalardan yararlanır, Şekil 2.23. Gözenekli olan kum kalıp ve kalem maça gaz geçirgenliğini sağladığından, besleyici içinde atmosfer basıncı hakim olur.



Şekil - 2.22 Çıkıcılarda yalıtkan ve egzotermik örtülerin kullanılması



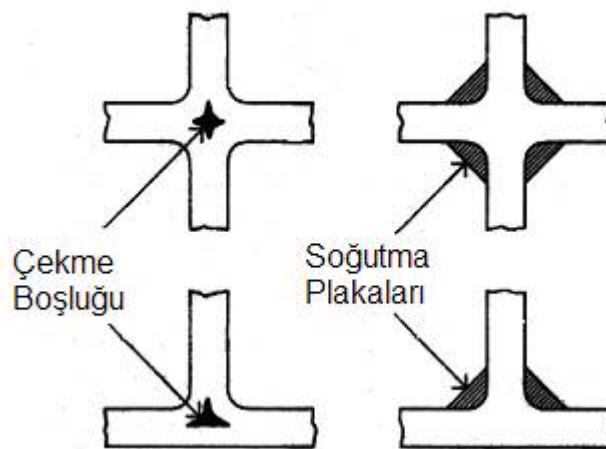


Şekil - 2.23 Besleyicilerde kalem maçaların kullanılması

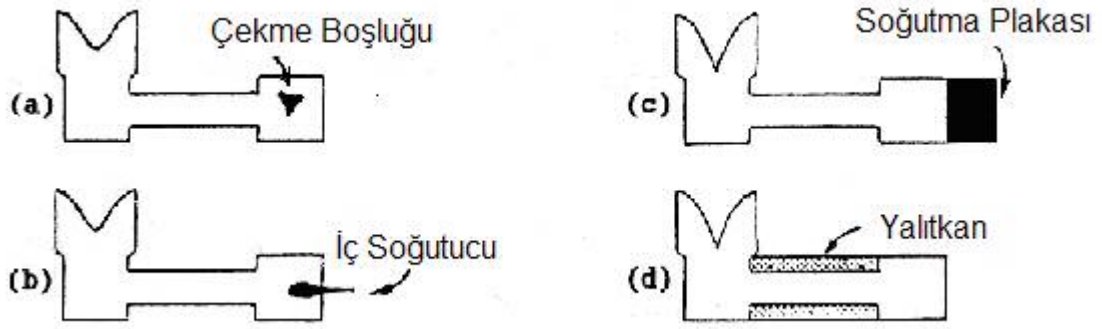
### Soğutucular

Katılaşmayı yönlendirmek ve çekme boşluklarının oluşmasını önlemek için, bazı durumlarda çıkıcı ve besleyiciler yerine **soğutucu plakalar** veya **iç soğutuculardan** yararlanılır. Bunlar çelik, dökme demir, bakır v.b. malzemelerden yapılmış kalıp elemanları olup, kalıplamada kalıp boşluğunun duvarına yerleştirilirler. Bu sayede en son katılaşması beklenen ve normal soğumada çekme boşluğu oluşacak bölgeler daha hızlı soğutulmuş olarak katılaşmanın buradan başlatılması ve istenilen şekilde yönlendirilmesi mümkün olur, Şekil 2.24.

Soğutma plakalarının yerleştirilmesinin güç olduğu bölgelerde iç soğutuculardan yararlanılabilir. Bir diğer çözüm de kalıbın bazı bölgelerinin yalıtılması yoluyla katılaşmayı yönlendirmektir. Şekil 2.25'te bu seçeneklerin tümü toplu olarak gösterilmektedir.



Şekil - 2.24 Çekme boşluklarının soğutma plakaları yardımıyla önlenmesi

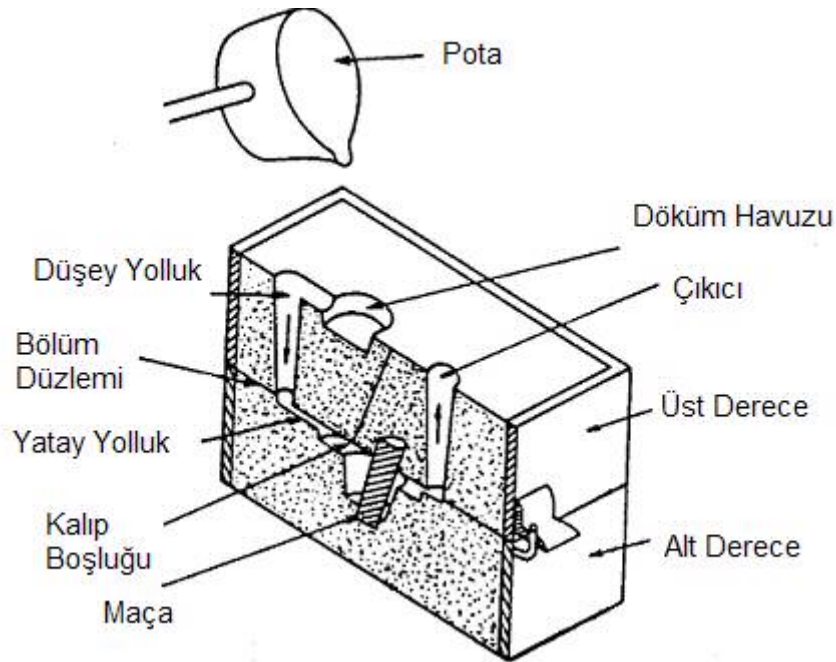


Şekil - 2.25 Çekme boşluklarının önlenmesi için soğutucu ve yalıtkanlardan yararlanılması

### 3 KUM KALIBA DÖKÜM

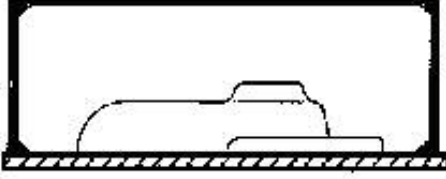
#### 3.1 GİRİŞ

Demir esaslı ve demir dışı metallerin dökümünde, ucuz ve refrakter özelliğe sahip kum esaslı kalıp malzemeleri yaygın olarak kullanılır. Kum kalıba döküm bir harcanan kalıp yöntemidir, yani katılaşma sonrasında kalıp bozularak parça çıkarılır ve her dökülecek parça için ayrı bir kalıp hazırlamak gerekir. Kalıplama kum esaslı malzemenin bir model etrafına sıkıştırılması ve daha sonra modelin kalıptan çıkartılması ile yapılır. Genellikle iki parça olan kalıpta, yolluk sistemi ve besleme amaçlı çıkıcılar gibi diğer kalıplama elemanları da bulunur. İç boşlukların elde edilmesi için gerektiğinde maçalardan yararlanır. Şekil 3.1'de döküme hazır bir kum kalıbın kesiti görülmektedir.

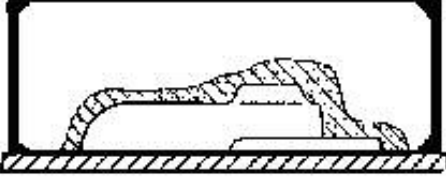


Şekil – 3.1. Döküme hazır bir kum kalıbın kesiti

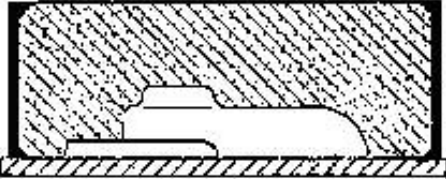
Yöntemde en çok emek harcanan işlem, kalıbın hazırlanması aşamasıdır. Günümüzde kalıplama çoğunlukla makinalarla ve seri olarak yapılır; ancak Şekil 3.2'de temel kalıplama bilgisi verebilmek amacıyla elle kalıplamanın aşamaları özetlenmiştir.



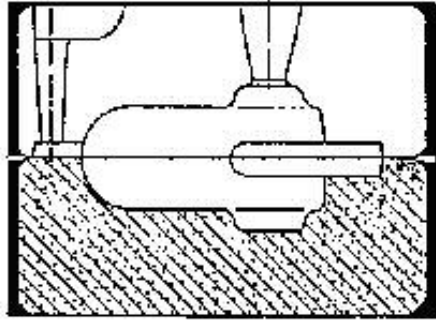
İki parçalı modelin pimsiz parçası alt derecenin içine sıkıştırma tahtası üzerine yerleştirilir. Model ile derecenin kenarları arasında 50-100 mm'lik boşluk bulunmalıdır.



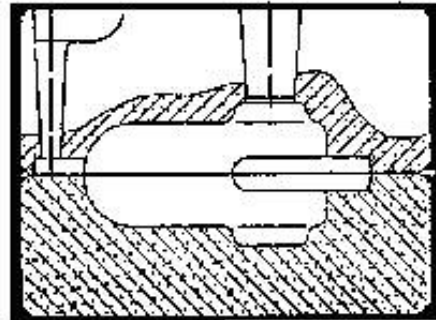
Model kömürle tozlanır. İnce kuru kum serpilerek kalıp kumunun model ve zemine yapışması önlenir. Daha sonra kullanılmamış kumdan 2-5 cm kalınlığında kum elenerek, kalıba dökülecek sıvı metale komşu olacak tabaka hazırlanır. En son dolgu kumu tabaka tabaka sıkıştırılır ve üst yüzeyi düzlenir. Gaz geçirgenliğini artırmak amacıyla kalıp 20-50 mm aralıklarla bölüm yüzeyi bozulmayacak şekilde şişlenir.



Sıkıştırmanın gevşek yapılması halinde kalıp malzemesi dayanımının, çok sıkı yapılması halinde ise geçirgenliğinin olumsuz etkileneceği dikkate alınmalıdır.



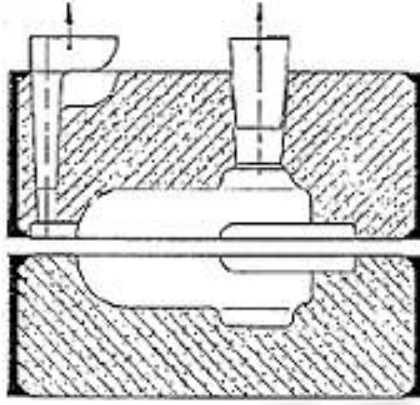
İşi biten alt derece ters çevrilerek bölüm yüzeyi düzlenir ve iki derecenin ara yüzeyini oluşturan bölüm düzlemine yapışmayı önlemek için kuru kum serpilir.



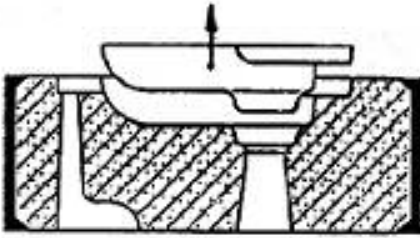
Modelin pimli yarısı ile yolluk ve çıkıcı modelleri boş üst dereceye yerleştirilir. Yukarıda sıralanan işlemler üst derece için de tekrarlanır.

Şekil – 3.2a. Serbest model kullanarak kum kalıpların elle hazırlanmasındaki aşamalar (devamı var)

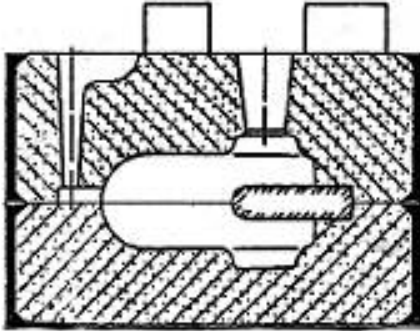
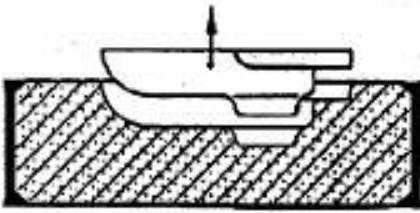




Kalıplama sonunda yolluk ve çıkıcılar çıkarılır.



Üst derece açılarak modeller sıyılır. Gerekli onarımlar yapılır. Yolluk ve diğer gerekli kanallar tamamlanır. Basınçlı hava ile serbest kumlar uzaklaştırılır.



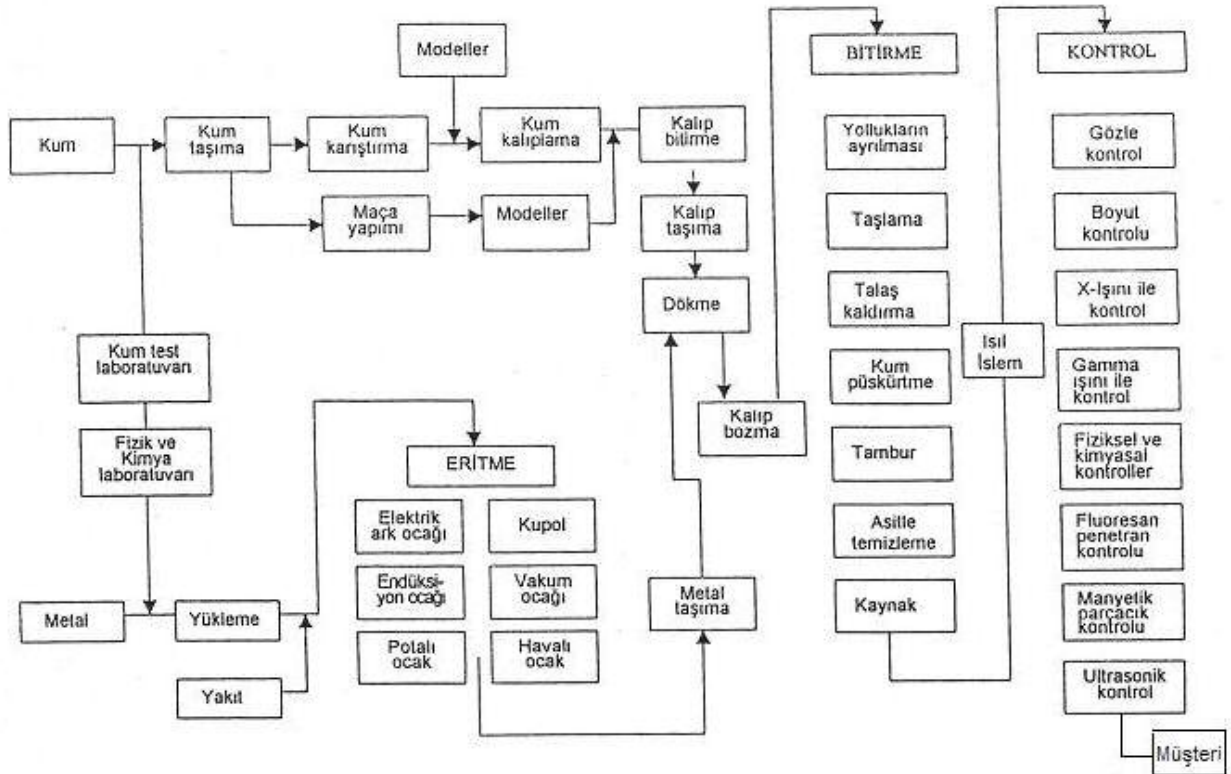
Kalıp kapatılıp üstüne ağırlıklar yerleştirilerek döküme hazır hale getirilir.

Şekil - 3.2b. Serbest model kullanarak kum kalıpların elle hazırlanmasındaki aşamalar (devam)

Kum esaslı kalıp kullanan bir dökümhane: modelhane, kalıplama, maça üretimi, eritme, bitirme ve kalite kontrol gibi değişik bölümlerden oluşur. Şekil 3.3'te karakteristik bir akım şeması görülen bu tür bir tesiste her bölümün görevi şöyle özetlenebilir:

- **Modelhane:** Modeller, kalıp içinde daha sonra metalin dolacağı boşlukların oluşturulması için, kalıplama işlemi sırasında kullanılır. Model üretiminde ahşap, metal, plastik gibi malzemelerden yararlanılır.

- **Maça bölümü:** Maçalar, parça içindeki boşlukların elde edilmesi için kullanılır. Kum esaslı kalıplara yerleştirilen maçalar da genellikle kum esaslıdır.
- **Kalıplama:** Kum esaslı kalıplar, modeller yardımıyla hazırlanır ve maçaları yerleştirilerek döküme hazır hale getirilir. Kalıplama, elle veya makinalar yardımıyla yapılabilir.
- **Eritme ve döküm:** Kupol, elektrik ocakları, potalı ocakları v.b. ocaklardan yararlanılarak eritilen metal, potalar yardımıyla kalıplara dökülür.
- **Kalıp bozma:** Katılaşma sonrasında kum kalıp bozularak parça çıkarılır.
- **Bitirme:** Kalıptan çıkarılan parçadan yolluk, çıkıcı gibi kısımlar ayrılır. Yüzey temizleme, ısıl işlem, boyama, işleme gibi değişik işlemler bu bölümde yapılır.
- **Kalite kontrol:** Malzemelerin kimyasal ve fiziksel özelliklerinin belirli standartları sağladığı ve parça boyutlarının verilen toleranslar içinde kaldığı kontrol edilir. Boyut, yüzey, boşluk v.b. kontroller ile kimyasal ve fiziksel deneylerin yapılması ve/veya yaptırılması bu bölümün görev alanıdır. Kusursuz dökümlerin elde edilebilmesi için dökümhane girdi malzemelerinin istenilen kalitede olması da kontrol edilmesidir.



Şekil 3.3. Kum esaslı kalıp kullanan dökümhaneler için karakteristik bir akış şeması

## 3.2 MODELLER

Model, üretilecek parçanın yaklaşık bire bir kopyası olup, kalıp içinde dökülecek sıvı metalin dolduracağı boşluğu elde etmek için kullanılır. Modellerin biçim ve boyutlarının belirlenmesinde, katılma sonrasında parçanın soğuyarak büzülmesi, işleme payları, modelin kalıptan sıyrılmasını kolaylaştıracak eğimler ve maça yuvalarının da düşünülmesi gerekir. Döküm teknolojisinde modelin doğru tasarımı ve kaliteli olarak üretimi çok önemlidir. Kötü bir model kullanarak kaliteli bir kalıp hazırlamak ve iyi bir döküm gerçekleştirmek mümkün değildir.

### 3.2.1 Model Türleri

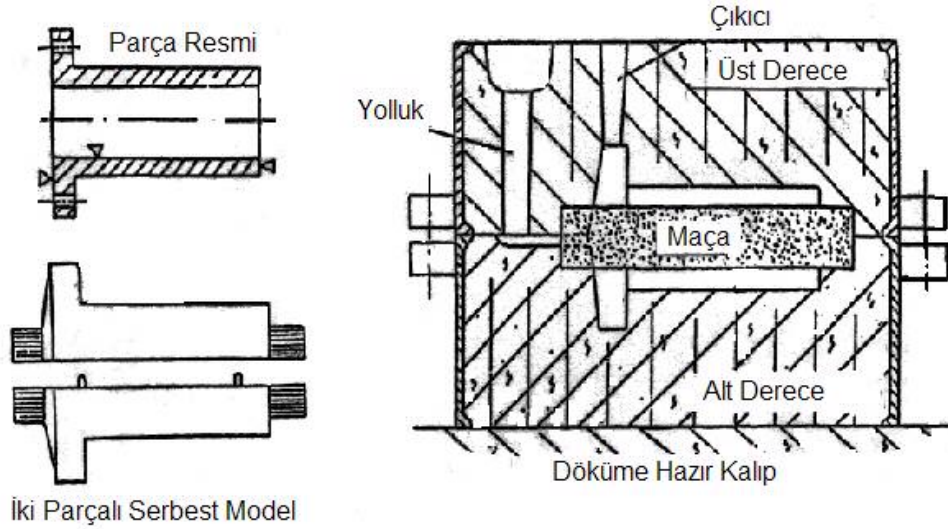
Metal dökümünde kullanılan modeller:

- Serbest modeller,
- Levhalı modeller,
- Özel model ve model tertibatları

olmak üzere sınıflandırılırlar. Üretilecek parça sayısı, biçim karmaşıklığı, dökümhanede uygulanan kalıplama yöntemi ve parça tasarımının düzeltilmesinin söz konusu olup olmadığı gibi kriterlere göre hangi tür modelin uygun olacağı belirlenir.

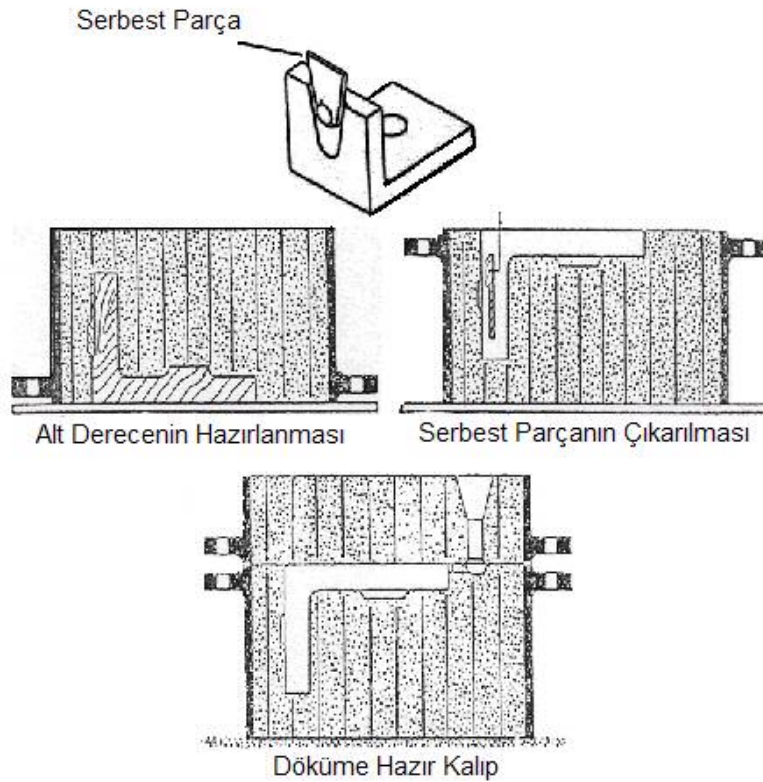
#### Serbest Model

Serbest model, üretilecek döküm parçanın yaklaşık bire bir kopyası olup, ucuz, basit ve yaygın olarak kullanılan bir model türüdür. Serbest modellerin boyutlandırılmasında çekme ve işleme payları dikkate alınır. Kalıplama sırasında yerleştirilecek maçaların yuvalarını oluşturan maça başları da model üzerinde bulunur, Şekil 3.4. Genellikle ahşaptan yapılırlar, ancak metal, plastik, alçı, mum veya diğer uygun malzemeler de kullanılabilir. Serbest modellerde kalıplama çoğunlukla elle yapılır, dolayısıyla yöntem yavaş ve pahalıdır. Kalıplama sırasında modelin kumdan sıyrılması için model iki parçaya ayrılarak alt ve üst dereceye ait kısımlar geçmeli olarak yapılır. Pimlerle birbirine göre konumları belirlenen bu iki kısmın birleşme yüzeyi, aynı zamanda kalıbın bölüm yüzeyidir. Kum kalıplarda genellikle elle açılan yolluk, çıkıcı ve diğer boşluklar da istenirse modelle birlikte veya ayrı model parçaları olarak düşünülebilir.



Şekil - 3.4: Serbest model yardımıyla kalıplama

Basit biçimli ve bir yüzeyi düzlemsel olan parçalarda model tek parça olarak yapılabilir ve kalıp boşluğu alt derecede oluşturulur, Şekil 3.5. Model üzerinde girinti, çıkıntı gibi modelin kalıptan sıyrılmasını engelleyecek kısımlar bulunursa, bu kısımlar serbest parçalı yapılabilir, Şekil 3.5. Kalıplama sırasında ana modele geçici olarak tutturulan serbest parça, ayrı olarak çıkarılarak kalıbın bozulması önlenir.



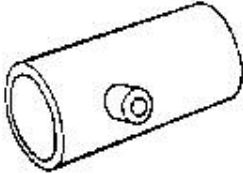
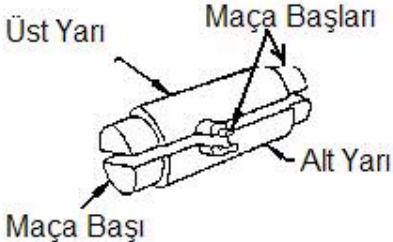
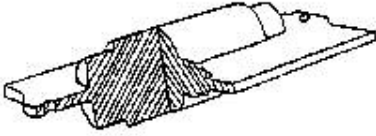
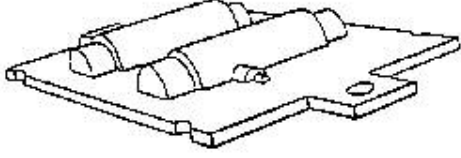
Şekil 3.5 Tek parça model ve alt derecede oluşturulan kalıp boşluğu



## Levhalı Modeller

Kalıplamada makinaların kullanıldığı durumlarda ve özellikle çok sayıda küçük parçanın üretiminde, çift taraflı levhalı modellerden yararlanır. Modelin üst ve alt dereceye ait kısımları, bölüm yüzeyini oluşturan ahşap veya metal bir levhanın alt ve üst yüzlerine monte edilir (Şekil 3.6). Çoğunlukla metal olan bu modeller de kum veya alçı kalıba döküm yöntemiyle üretilirler.

Düşey ve yatay yolluklar ile mümkünse çıkıcılar da levhalı model üzerine yerleştirilir. Bu modeller genellikle yüksek üretim hızlarına sahip kalıplama makinalarında kullanılırlar. Seri üretimde kalıp ömrünün, boyut hassasiyetinin ve üretimdeki verimin yüksek oluşu bu modeller için yapılan masrafları karşılar.

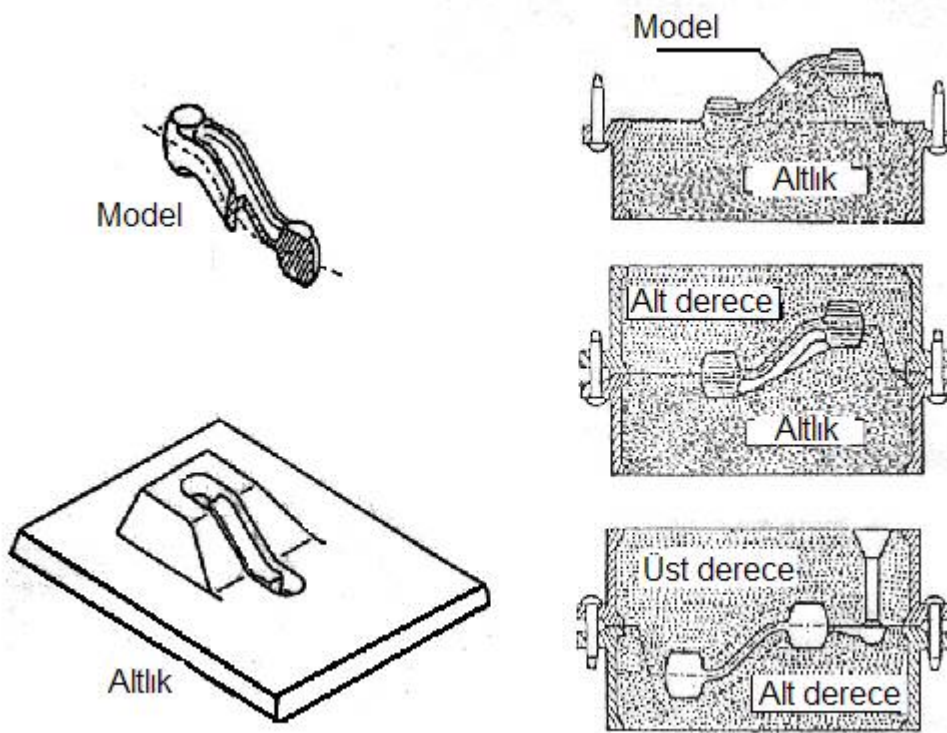
	DÖKÜLECEK PARÇA
	AHŞAP SERBEST MODEL Prototip veya az sayıda parça dökümü için
	ÇİFT TARAFLI LEVHALI MODEL Orta sayıda parça üretimi ve makina ile kalıplama için
	TEK TARAFLI LEVHALI MODEL Seri üretim için, alt ve üst derece makinalar yardımıyla ayrı ayrı kalıplanır

Şekil-3.6. Kalıplamada kullanılan farklı model türleri

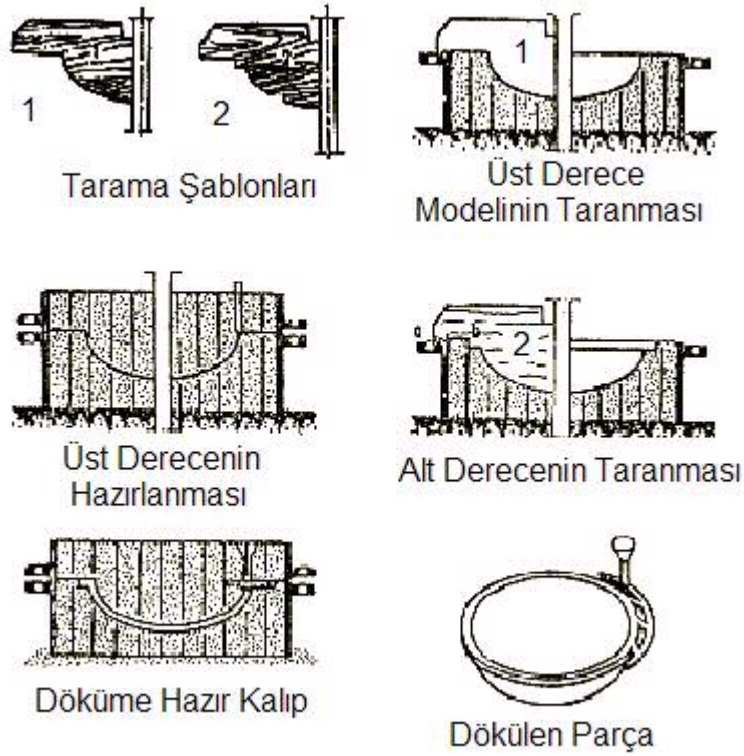
Büyük döküm parçalarda alt ve üst derece için iki ayrı levhali model kullanılır (Şekil 3.6). Tek taraflı olan bu modeller ile alt ve üst derece ayrı ayrı kalıplanarak daha sonra birleştirilir, ancak burada derecelerin birbirlerine göre konumlarının iyi ayarlanması çok önemlidir.

### Altık

Bölüm yüzeyi düzgün olmayan serbest modellerde kalıplama sırasında kum veya tahta altlıklardan yararlanır (Şekil 3.7). Altlıkların bir diğer kullanım amacı da kalıplama sırasında uygulanan kuvvetler etkisiyle biçimi bozulabilecek veya kırılabilir narin modellerin desteklenmesidir. Altık, alt derecenin hazırlanmasında serbest modele destek olur ve bölüm yüzeyini belirler. Kum altlıklardan ancak birkaç kez yararlanılabilir. Alçı altlıklar daha uzun ömürlüdür. Oyma tekniğiyle hazırlanmış ahşap levhalar da altık olarak kullanılabilirler. Kalıplama sırasında önce alt derece, model ve ahşap altık üzerinde hazırlanır, kalıp çevrilir, altık alınır ve sonra üst derece hazırlanır.



Şekil - 3.7. Altık yardımıyla kalıplanması



Şekil – 3.8 Şablonla tarama

### Şablon

Dönel simetriye sahip parçaların kalıplanmasında üç boyutlu modeller yerine şablonlardan yararlanır, Şekil 3.8. Kalıplar bir eksen etrafında döndürülen şablonlarla taranarak hazırlanır ve üç boyutlu modellerin üretim masraflarından tasarruf edilir.

### 3.2.2 Model Tasarımı

Model tasarımcıları döküm teknolojisi hakkında bilgi sahibi olmalı ve verilen bir parçanın en uygun nasıl kalıplanacağına karar verebilmelidir. Ayrıca model üretiminde kullanacağı ahşap, metal, plastik v.b. malzemeleri biçimlendirmek için kullanılan yöntemlere hakim olmalıdır. Bütün bunların yanında, parça tasarımcısı ve dökümcüler ile diyalog kurabilmek için döküm teknolojisini ve sorunlarını yakından tanımalıdır. Verilen parça biçim ve boyutları ile maça yuvaları düşünülerek önce modelin bire bir ölçekli bir planı yapılır ve buradan çekme ve işleme payları da eklenerek elde edilen boyutlar üretilecek modele aktarılır. Ayrıca modelin bölüm yüzeyine dik yüzeylerinin kalıptan sıyrılabilmesi için gerekli eğimler verilir.

### Çekme (Büzülme) Payı

Model boyutlarına çekme payı eklenmesinde amaç, metalin kalıp içindeki katılaşması bittikten sonra oda sıcaklığına kadar soğuması, yani katının büzülmesi sırasındaki boyut değişimlerini dikkate almaktır. Gerçekte hacimsel olan bu büzülme payı, pratikte doğrusal olarak mm/m birimiyle verilir. Dolayısıyla model, dökülecek parçadan çekme payı kadar büyük boyutlandırılır. Çekme payının sayısal değeri, parçanın boyutları, metalin türü, döküm sonrasında kalıbın yaklaşık sıcaklığı ve kalıbın döküm parçanın büzülmesine karşı gösterdiği dirence göre seçilmelidir. Kum kalıba dökümde bazı malzemeler için bazı doğrusal çekme payı değerleri Çizelge-3.1'de verilmiştir. Bazı metallerin kendilerine özgü çekme davranışları vardır. Örneğin temper dökme demir beyaz dökme demir olarak katılaşırken bir miktar kendini çeker, ancak daha sonra uygulanan temperleme ısıl işleminde grafitin ayrışması nedeniyle hacmi artar. Dolayısıyla bu malzemede çekme payı olarak bu iki değer farkı alınır.

Çizelge – 3.1. Bazı döküm malzemeleri için yaklaşık çekme payları

<b>DÖKÜM MALZEMESİ</b>	<b>ÇEKME PAYI (MM/M)</b>
Kır dökme demir	10
Beyaz dökme demir	20
Temper dökme demir	15
Basit karbonlu çelik	23
Mangan çeliği	30
Aluminyum alaşımları	15
Bakır alaşımları	17
Magnezyum alaşımları	15
Kurşun	26
Çinko	14

### İşleme Payı

Eğer dökümden sonra parçanın bazı yüzeyleri işlenecekse, bu yüzeylerde yeterli bir işleme payının bırakılması gerekir. Bu pay kullanılan metale, parçanın biçimine, büyüklüğüne, çarpılma eğilimine, işleme yöntemi ve uygulamasına bağlıdır. Mümkünse işlenecek yüzeyler kalıbın alt kısımlarına getirilmelidir. Çünkü cüruf, oksitler ve diğer katışkılar dökümde üst kısma yükseldiğinden döküm parçaların alt kısımlarındaki yüzeyler daha temiz çıkar. Ayrıca metalin kendini çekmesi sonucu oluşabilecek boşluklar da üst yüzeyde bulunacaktır. İşlenecek yüzeylerin kalıbın üst bölgesinde kalması zorunlu ise, bu durumda daha büyük işleme paylarının seçilmesi gerekir.

### Eğim ve köşe yuvarlatmaları

Modellerin kalıptan sıyrılması sırasında kalıbın bölüm yüzeyine dik kısımlarının bozulmaması için bu yüzeylere eğim verilmesi gerekir. Makina ile sıyrılan modellerde bu eğim daha düşük seçilebilir. Model çok düzgün ve temiz ise makina ile 200 mm'ye varan dik yüzeyler temiz olarak sıyrılabılır.

Model üzerindeki köşeler keskin olmamalı, yuvarlatılmalı ve buralarda kendini çekme çatlakları ile gerilme yığılmalarının oluşması önlenmelidir. Köşe yuvarlatma yarıçapları, parçanın et kalınlığına göre seçilir.

### 3.2.3 Model Malzemeleri

Malzeme olarak ahşap, metal, alçı, plastik, köpük v.b. malzemeler kullanılır. Model malzemesi seçiminde şu kriterler dikkate alınır:

- Üretilen parça sayısı
- İstenen boyut hassasiyeti
- Uygulanacak kalıplama yöntemi
- Parçanın boyut ve biçimi
- Modelde düzeltme yapılıp yapılmayacağı.

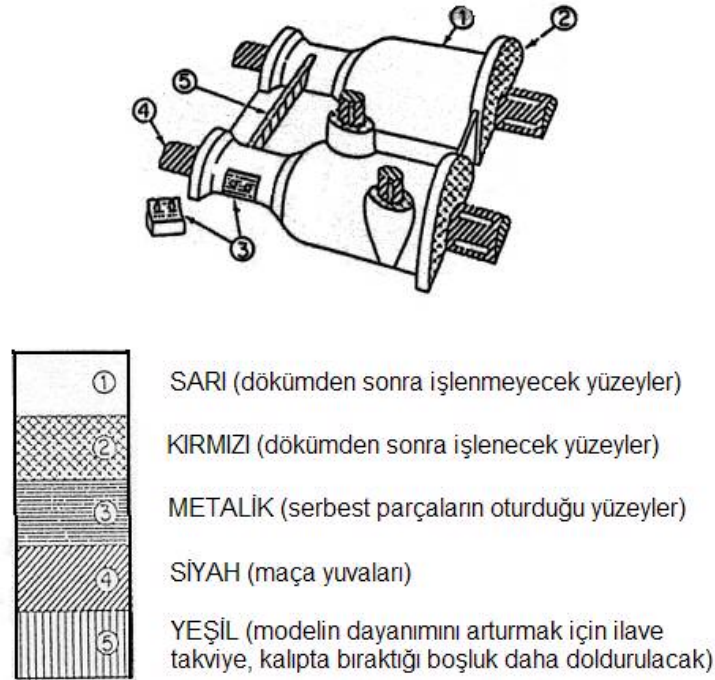
En yaygın olarak kullanılan malzeme **ahşaptır**. Bunun nedeni ucuz, hafif ve kolay şekillendirilebilir olmasıdır. Hazırlanacak kalıp sayısı az ise, ahşap malzeme olarak yumuşak çam seçilebilir. Ancak model üretimi için genellikle kuru, sert ve az gözenekli malzemeler daha uygundur.

**Metal modeller**, ömür bakımından ahşaba göre çok daha üstündür. Modellerin aşınmaması veya örneğin kabuk kalıplamada olduğu gibi ısıtılması gerekiyorsa, malzeme olarak alüminyum, pirinç, bronz, kır dökme demir, çelik ve düşük sıcaklıkta eriyen diğer metal alaşımları kullanılabilir. Alüminyum alaşımlarından üretilmiş levhalı modeller ve maça kutuları özellikle kabuk kalıba dökümde yaygın olarak kullanılırlar. Yüzeyleri çok düzgün olan **plastik** malzemelerden yapılmış modeller, tahta modellerden daha dayanıklıdır. Bunlar kalıptan kolay sıyrırlar, aşınma ve çizilmeye karşı daha dayanıklıdır ve hasara uğradıklarında tamir edilmeleri kolaydır. Plastik model malzemelerinin boyut kararlılığı ve yüzey kalitesi de üstün olup, ayrıca daha ucuzdur. Dayanımın yetersiz olduğu durumlarda cam takviyeli plastikler de kullanılabilir. Kullanım sırasında çabuk aşınan bölgelerin metal parçacıklar ile takviye edilmesi de mümkündür. Plastik esaslı diğer bir model türü de, dolu kalıba döküm yönteminde kullanılan **köpük modellerdir**. Bunlar dökümden önce kalıptan çıkarılmazlar ve erimiş metalle temasa

geçtiklerinde gaz haline geçerek kalıbı terk ederler. Yüzey kalitesini arttırmak için yüzeyleri kaplanabilir. Hassas döküm tekniğinde ise genellikle **mum modeller** kullanılır. Bu modeller, hazırlanan kalıbın ısıtılmasıyla eritilerek kalıp boşluğu oluşturulur. **Alçı** modellerin üstünlüğü, kolay şekillendirilebilir olmalarıdır. Dayanımın yetersiz kalması halinde alçıya katkı malzemeleri ilave edilebilir.

### Model Renk Kodları

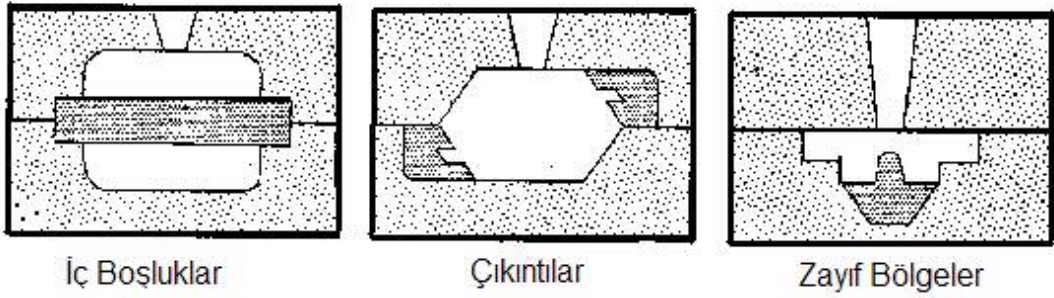
Özellikle ahşap modellerin nemden ve ortam etkisinden korunması için boyanması gerekir, bu sırada modelin değişik bölgelerine ait yüzeyler için değişik renkler kullanılarak işaretleme yapılır. Şekil 3.9'da basit bir örneği görülen bu kodlama sayesinde kalıpcı uzun yıllar sonra dahi her bir kalıp yüzeyini tanıyabilir ve değişik kalıp elemanlarının yerlerini kolaylıkla belirlemesi mümkün olur.



Şekil – 3.9 Modellerin boyanarak kodlanmasına bir örnek

### 3.3 MAÇALAR

Döküm parçaların iç boşluklarını veya modelin kumdan sıyırılması sırasında bozulabilecek kalıp kısımlarını oluşturmak için kullanılan kalıp elemanları, maça olarak adlandırılır. Bazı karmaşık parçalarda kalıpların tümüyle maçalardan yapılması da gerekebilir (maça kalıplar). Maça malzemeleri genellikle kum esaslı karışımlardır, ancak seramik, metal v.b. malzemelerden yapılmış maçalar da kullanılabilir. Şekil 3.10'de maçaların kullanım yerlerine bazı örnekler görülmektedir.



Şekil

Şekil – 3.10 Maça kullanım yerlerine örnekler

Bir maçadan istenen özellikler şunlardır:

- Maçalar, tümüyle sıvı metal içinde kaldığından yüksek sıcaklık dayanımları ve metal erozyonuna karşı dayanıklılıkları yeterli düzeyde olmalıdır.
- Döküm sonrasında kolay dağılmalıdır. Bu özellik döküm sonrasında temizleme işlemlerinin kolay ve ekonomik yapılabilmesi için gereklidir.
- Döküm sonrasında soğuyan parçanın serbestçe büzülebilmesi ve sıcak yırtılmalarının oluşmaması için de maçaların dağılabilir olması gereklidir.
- Gaz geçirgenliği yeterli olmalı ve döküm sırasında mümkün olduğu kadar az gaz oluşturmalıdır.
- Çabuk pışmeli ve bu sırada biçimleri bozulmamalıdır,
- Yüzeyleri düzgün olmalıdır.
- Depolama sırasında özellikleri değişmemelidir.

### Kum Esaslı Maça Malzemeleri

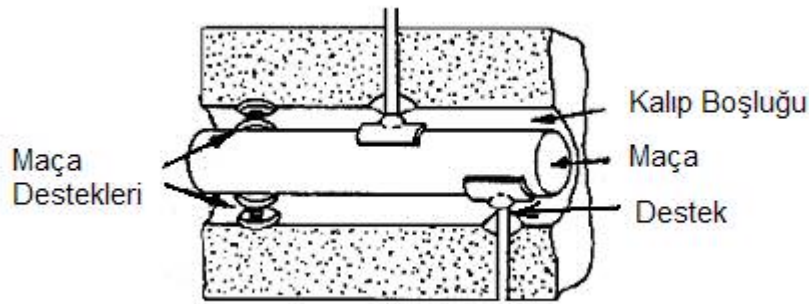
Kum esaslı maçalar, üretildikleri malzeme veya yöntemine göre adlandırılırlar: yaş kum maçalar, kuru kum maçalar, kabuk maçalar, CO<sub>2</sub> yöntemiyle üretilen maçalar, reçine veya diğer bağlayıcı maçalar. Maça malzemesi karışımının esasını silis, zirkon, olivin gibi kumlar oluşturur. Kullanılan bağlayıcılar ise organik ve inorganik olmak üzere ikiye ayrılır.

**Reçineler**, maça yağları ve tahıl unları en çok kullanılan organik bağlayıcılardır. Tahıl esaslı bağlayıcılar (mısır unu, buğday unu, nişasta, dekstrin) genellikle maça yağları ile birlikte kullanılırlar. Organik bağlayıcıların önemli bir bölümünü de reçineler oluşturur. Çoğunlukla 200°... 260°C arasındaki sıcaklıklarda pışirilerek sertleştirilen (sıcak kutu yöntemi) reçinelerin, oda sıcaklığında bir katalizör yardımı ile sertleşen (soğuk kutu yöntemi) türleri de vardır.



**İnorganik bağlayıcılar** ise killere, sodyum silikat ( $CO_2$ -yöntemi), çimento, ve değişik kimyasal maddelerdir. İnorganik bağlayıcıların üstünlüğü döküm sırasında gaz oluşturmamaları, zayıf yönü ise dökümden sonra kolay dağılmamalarıdır.

Maçaların kalıp içinde yerleştirilme şekli düşünülerek kum kalıpta gerekli boşluklar, **maça yuvaları** bırakılır. Maça yuvaları, maçaların kendi ağırlıkları ve sıvı metalin kaldırma kuvveti dikkate alınarak boyutlandırılır. Maçaların yerleştirilmesinden sonra kendi ağırlıkları, sıvı metal akımı veya kalıba dolacak sıvı metalin uygulayacağı kaldırma kuvveti ile konumlarının değişmemesi için önlemler alınmalı ve gerektiğinde **maça desteklerinden** yararlanılmalıdır (Şekil 3.11). Maça destekleri döküm sırasında parçaya kaynayıp içinde kalacağından, dökülen metale yakın alaşımlardan üretilmelidirler.



Şekil - 3.11 Maça destekleri

### Maça üretimi

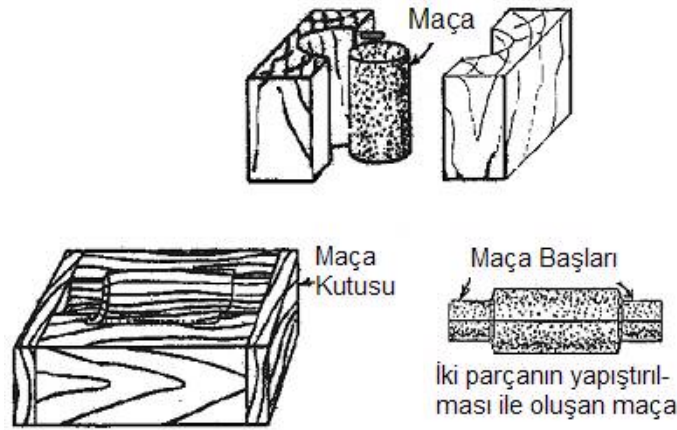
Maçalar genellikle ahşap, metal, plastik v.b. malzemelerden yapılmış kutularda, elle veya makinalarla sıkıştırılarak biçimlendirilirler (Şekil 3.12). Maça kutuları tek parçalı, çift parçalı veya açılır kapanır olabilirler. Maçalara yeterli gaz geçirgenliği kazandırmak için iç kısımlarında hava kanalları bırakılabilir. Bazı durumlarda ise, dayanımlarını arttırmak için maçaların içine tel, çubuk, iskelet gibi takviyeler yerleştirilir.

Sıkıştırmada titreşimli tablolardan veya ezme aparatlarından yararlanılabilir. Maça üretiminde kullanılan en basit makina, sarsma tablalarıdır. Sarsma işlemi ile kum sıkıştırıldıktan sonra maça, küçük parçalarda elle, büyüklerde ise pnömomatik aletler yardımıyla dövülerek üst kısımlarda da istenilen sertlik elde edilir. Basit bir sarsma tablası boyut ve biçim bakımından çok değişik maçaların üretiminde kullanılabilir. Büyük maça kutularının doldurulmasında, kalıp üretiminde de kullanılan kum savurma tekniğinden yararlanılabilir. Bu sayede çok miktarda kumun maça kutusuna kısa sürede dolması ve daha üniform bir sertlik dağılımının elde edilmesi mümkün olur.

Küçük ve orta boy maçaların seri üretiminde en yaygın olarak kullanılan makineler, **maça üfleyicileridir** (Şekil 3.13). Burada çalışma prensibi, maça kumunun



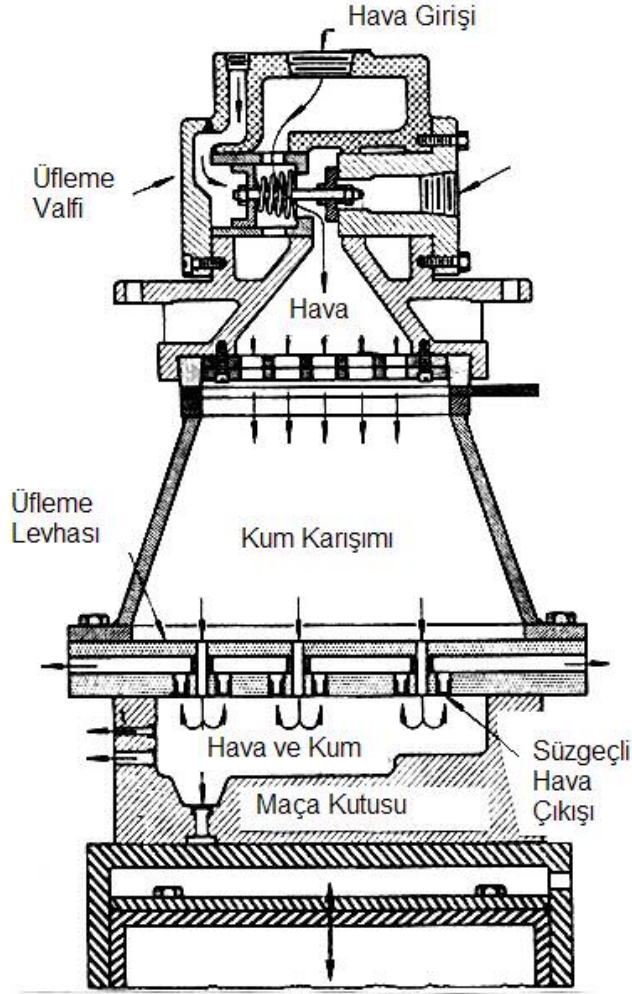
bir hava akımı içinde maça kutusuna taşınmasıdır. Böylece hem maça kutusu doldurulur, hem de sıkıştırma sağlanır. Makinada üflenecek kum karışımının bulunduğu bir kum haznesi ve hazne ile maça arasında çelikten yapılmış bir üfleme plakası bulunur. Plaka üstündeki delikler, maçanın biçimine uygun olarak düzenlenmiştir. Hava basıncının uygulanmasıyla kum karışımı çelik plakadaki deliklerden üflenerek maça kutusunu doldurur. Havanın dışarı çıkması için maça kutusunda süzgeçli hava delikleri açılmıştır. Üfleme işlemi çok hızlı olup maça kutusu çok kısa sürede dolar. Üfleme plakasının boyutları, bağlanabilecek en büyük maça kutusunu belirler. Uygulamada elle kontrol edilen basit tezgah tipi üfleyicilerden, otomobil motoru silindirleri için sıcak kutu yöntemiyle maça üreten büyük üfleyicilere kadar değişik boyutlarda makinalar kullanılmaktadır. İlerdeki bölümlerde anlatılan **CO<sub>2</sub> yöntemi** ve **kabuk döküm** yöntemi de, maça üretiminde kullanılabilir.



Şekil – 3.12 Maça kutuları

Standart boyutlarda olan ve çok kullanılan maçalar dökümhanelerde stokta bulundurulur. Sabit kesitli maçaların basit biçimli olanları et kıyma makinalarına benzer makinalarda **ekstrüzyon** yöntemiyle kolay ve ekonomik olarak üretilebilirler. Uzun çubuklar biçiminde üretilen bu maçalar istenilen boylarda kesilerek ve gerekirse koniklik verilerek kullanılır. Ekstrüzyon yönteminde maçanın ortasında bir havalandırma kanalının elde edilmesi de mümkündür. Bu yöntemle daire, kare, altıgen gibi değişik kesitli profiller üretilebilir. Bağlayıcı olarak genellikle yağ esaslı veya termoset reçineler kullanılır.

**Maça pişirme** işlemi sıvı yakıtlı, gaz yakıtlı veya elektrikli fırınlarda yapılabilir. Pişirme sıcaklığı ve süresi bağlayıcının türü, bileşimdeki oranı, maçanın büyüklüğü ve biçimine bağlı olarak belirlenir.



Şekil - 3.13 Maça üfleme makinası

### 3.4 KUM ESASLI KALIP TÜRLERİ

#### 3.4.1 Yaş Kum Kalıplar

Yaş kum kalıba döküm, dökümhanelerde en yaygın olarak kullanılan yöntemdir. Burada kalıp malzemesi: kum tanecikleri, kil, su ve diğer katkıların bir karışımıdır. Kum tanecikleri kalıp malzemesinin esasını, bünyesine su alan kil ise bağlayıcıyı oluşturur. Kalıp kumlarının özellikleri de bu bölümde ayrıca ele alınacaktır.

Kalıplama, küçük parçalar için tezgah üzerinde, iri parçalar için yerde kum havuzlarında yapılır. Elde edilen parçanın kalitesi belli ölçüde kalıpcı ustasının becerisi ile

belirlenir. Ancak saatte 60 ve daha fazla kalıp üretmek gerektiğinde makinalı kalıplamaya geçmek zorunlu olur.

Yaş kum kalıba döküm yönteminin **üstünlükleri** şunlardır:

- Kalıp malzemesi ucuzdur ve tazelenerek defalarca kullanıldığından en ekonomik kalıplama yöntemidir.
- Yöntem basittir, gerektiğinde mekanizasyon da uygulanabilir.
- Değişik metallerin dökümü için elverişlidir.

Bu yöntemin **sınırları** ise öyle sıralanabilir:

- Kalıp malzemesinin dayanımı sınırlıdır. İnce, uzun, karmaşık biçimli ve iri parçaların dökümünde yetersiz kalır. Taşıma sırasında bozulabilir.
- Erimiş metalin dökümü sırasında nemli kalıpta oluşan buhar kusurlara neden olabilir.
- Boyut hassasiyeti ve yüzey kalitesi çok iyi değildir.
- Kalıbın optimum dayanıma sahip olabilmesi için nem miktarının çok iyi kontrol edilmesi gereklidir.

### 3.2.2 Kuru Kum Kalıplar

Kuru kum kalıplar, yaş kum kalıplara benzer şekilde hazırlanır ve 150...350°C arasındaki sıcaklıklarda kurutulurlar. Bağlayıcı görevi yapan kilin tüm suyunu kaybetmemesi için 400°C sıcaklığın üzerine çıkılmamalıdır. Yöntemin sakıncası kurutma işleminin kalıp hazırlama süresini uzatması ve maliyeti artırmasıdır.

Kuru kum kalıplara döküm yönteminin **üstünlükleri** şunlardır:

- Dayanımı ve metal erozyonuna karşı dayanıklılığı daha yüksektir. Taşınırken bozulma tehlikesi daha azdır.
- Yaş kum kalıplardaki gibi kalıplama sırasında nem miktarının kontrolü kritik değildir.
- Döküm sırasında buhar oluşmayacağından, bu nedenle ortaya çıkan döküm kusurları söz konusu değildir.
- Gaz geçirgenliği daha iyidir.

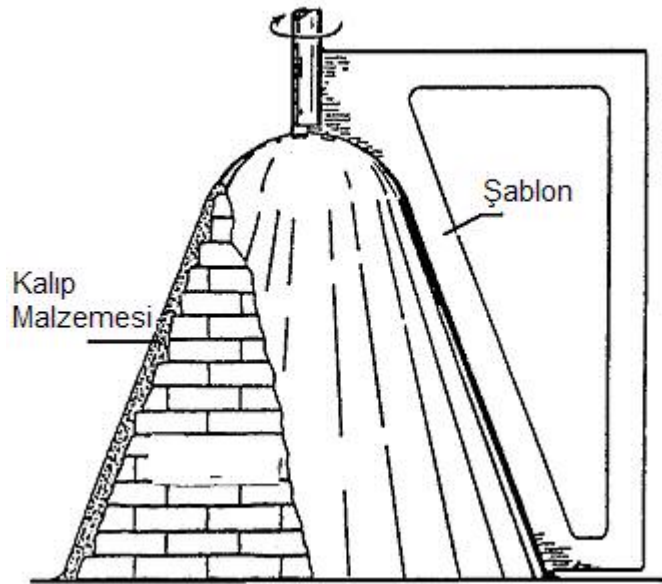
Bazı durumlarda yaş kum kalıpların sadece yüzeyleri (6...25 mm kalınlığında bir tabaka) kurutularak dökümde nemden kaynaklanan sorunlar azaltılabilir. Bu işlemde üfleç, sıcak hava veya elektrikli ısıtıcılardan yararlanır. Yüzeyi kurutulmuş kalıplarda iç

kısımlardaki nem, zamanla yüzeye ilerleyeceğinden, bu kalıpların yüzey kurutma işleminden hemen sonra kullanılmaları çok önemlidir.

### 3.4.3 Toprak (Balçık) Kalıplar

Biçimlendirmenin genellikle şablonla taranarak yapıldığı toprak kalıplar, büyük silindirler, kağıt makinası merdaneleri gibi dönel simetriye sahip ağır parçaların dökümü için uygundur. Bu yöntemde dereceye sığmayacak büyüklükte parçalar için, önce dökülecek parçanın biçimine yakın tuğla, tahta veya diğer uygun malzemelerden bir alt yapı hazırlanır. Kum, kil, su ile diğer katkıların bir karışımı olarak hazırlanan harç bu yapıya sıvanır ve kabaca biçimlendirilir. Daha sonra kalıp boşluğunun dönel simetri ekseninde döndürülen tarama şablonları yardımıyla kalıp son biçimine getirilir (Şekil 3.14). Son işlem, kalıbın üfleç veya sıcak hava ile kurutulmasıdır.

Toprak kalıplamada üç boyutlu model kullanma gereği olmadığından, büyük parçalarda önemli tasarruf sağlanır. Ancak tüm işlemler elle yapıldığından, kalıpların deneyim ve becerileri çok önemlidir.



Şekil – 3.14. Bir toprak kalıbın alt yarısının şablonla taranarak hazırlanması

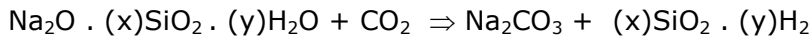
### 3.4.4. Çukur Kalıplar

Çukur kalıplar, derecelere sığmayacak kadar büyük dökümlerin (1...100 ton) gerçekleştirilmesi için kullanılır. Model bir çukura yerleştirilir ve kalıp kumu modelin altına ve çevresine sıkıştırılır. Daha sonra üst kalıp yerleştirilerek bölüm yüzeyinde metal sızmasını önlemek için yere bağlanır. Bölüm yüzeyi zemin seviyesinde veya üzerinde olabilir. Birçok dökümhanede sürekli olarak ürettikleri iri parçalar için hazır beton çukurlar vardır. Büyük parçalarda iç gerilmelerin ortaya çıkmasını azaltmak için, bu tür dökümler yavaş soğutulmalıdır. Dolayısıyla dökümden sonra kalıbın açılması için birkaç gün beklenmesi gerekebilir.

### 3.4.5. Karbondioksit Yöntemi

Kalıp ve maçaların karbondioksit gazı yardımıyla sertleştirildiği CO<sub>2</sub>-yöntemi, ilk önce 1950 yıllarında uygulanmaya başlanmış ve bunu izleyen yıllarda giderek geliştirilerek kullanımı yaygınlaşmıştır.

Yöntemin prensibi, kalıplamada kuma % 3 - 5 sodyum silikat (cam suyu) karıştırmak ve kalıp sıkıştırılarak biçimlendirildikten sonra, gaz geçirgenliği olan kum kalıp malzemesi içinden kısa bir süre için CO<sub>2</sub> gazı geçirmektir. CO<sub>2</sub> gazı, sodyum silikati silikajele dönüştürür ve kum tanecikleri bağlanır:



Bu yöntem için özel kalıplama ve maça üfleme makinaları geliştirilmiş olup, bu makinalarda kalıplama ve gaz verme işlemleri peşpeşe yapılabilmektedir. CO<sub>2</sub> yöntemi maça üretiminde de kullanılabilir.

CO<sub>2</sub> yönteminin bazı önemli **üstünlükleri** şunlardır:

- Kalıp ve maça yapım tekniği, geleneksel kum kalıplamaya benzer olduğundan bu teknik her dökümhanede kolaylıkla uygulanabilir.
- Yöntem hem az sayıda parça için, hem de seri üretimde kullanılabilir.
- Karmaşık biçimlerin kalıptan çıkarılması yaş ve kuru kum kalıplardan daha kolaydır.
- Üretilen parçaların boyut hassasiyeti ve yüzey kalitesi yaş ve kuru kum kalıplardan daha iyidir.

- Kalıp kurutma işlemine gerek kalmadan, dayanımı yüksek kalıplar elde edilir. Fırınlara için yatırım yapılması gerekmez, yer ve zamandan tasarruf edildiğinden kuru kum kalıplamadan daha ekonomiktir.
- Yöntemde rahatsız edici gaz ve kokular çıkmaz.
- Maça üretiminde **CO<sub>2</sub>** - gazı geçirilmeden önce maçaların içi boşaltılarak kabuk kalıplama yöntemindekine benzer şekilde içi boş maça üretimi yapılabilir.

Yöntemin **sınırları** ise şunlardır:

- Hazırlanan kum karışımının ve sertleştirilen kalıpların bekletilebilecekleri süreler kısadır. Alt ve üst kalıpların bu şekilde sertleştirilip kalıbın kapatılmasından sonra dökümün 24 saat içinde yapılması gerekir.
- Kalıp ve maçaların dökümünden sonra dağılılabilecek özellikleri çok kötüdür.

### 3.4.6. Kabuk Kalıplar

II.Dünya Savaşı sırasında Alman Johannes Croning tarafından bulunan kabuk kalıba döküm yöntemi, Croning veya C-yöntemi olarak da adlandırılır.

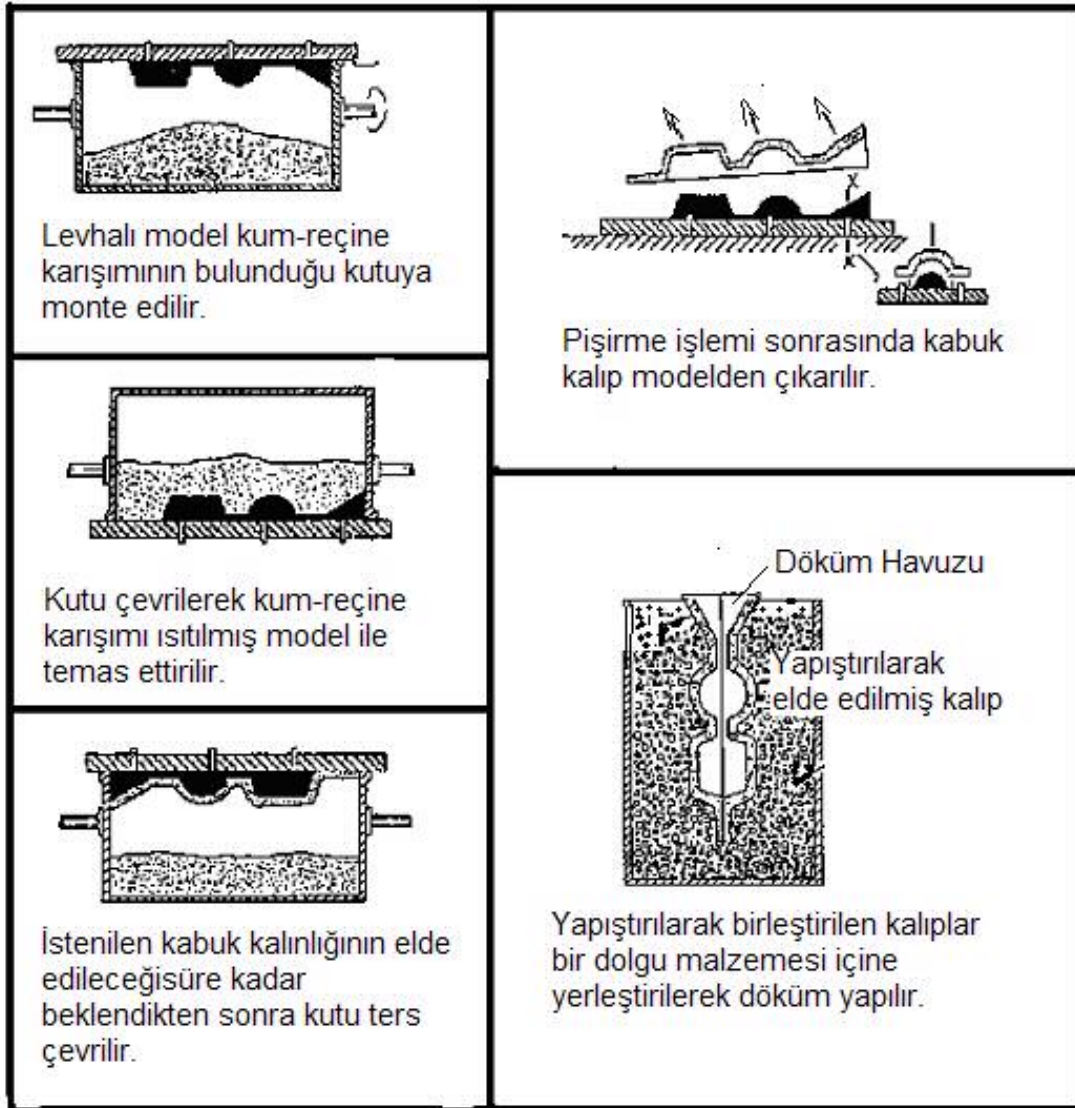
Kabuk kalıplamada kullanılan kalıp malzemesi, ince taneli kum ile bağlayıcı olarak katılan ve yüksek sıcaklıkta sertleşen bir termoset reçinenin karışımıdır. Kumun tane inceliği arzulanan yüzey kalitesine göre seçilir. Kullanılan bağlayıcı reçineler sayesinde kalıp malzemesi çok yüksek dayanımlara ulaştığından, ve kalıp malzemesi pahalı olduğundan, kabuk biçiminde kalıpların kullanılması yeterli olur. Metalse levhalı modellerin yüzeylerine kalıplamadan önce özel bir sıvı püskürtülür, yaklaşık 200°C sıcaklığa ısıtılır ve kum-reçine karışımıyla kaplanır. Model yüzeyine püskürtülen sıvı, modeli temiz tutar ve kalıp kumunun modele yapışmasını önler. Kalıp malzemesi model üzerinde kısa bir süre (yaklaşık 5 ila 20 saniye) tutulur, bu sırada model yüzeyine temas ederek ısınan bölgede reçine sertleşir ve sıcaklık ve tutma süresi ile kalınlığı ayarlanabilen ince bir kabuk oluşur. Kabuk istenilen kalınlığa ulaştığında (6...12mm), sertleşmemiş ve bağlanmamış kum geriye dökülür. Tam sertleşmeyi sağlamak için kabuk modelden çıkarılmadan önce yaklaşık 315°C sıcaklıkta pişirilir ve böylece tam dayanımına kavuşan kabuk, modelden ayrılır. Kabuk döküm yönteminin aşamaları Şekil 3.15'te görülmektedir.

Kabuk kalıplar iki veya daha çok parçalı yapılırlar ve daha sonra yapıştırılarak birleştirilir. Döküm sırasında kalıbın biçim değiştirmesini (şişmesini) önlemek için kalıplar genellikle bir dolgu malzemesinin (iri taneli kum, çakıl, metal bilyalar) içine gömüldükten sonra sıvı metal ile doldurulur.

Kabuk kalıba döküm yöntemiyle, maça üretimi de mümkündür. Maçalar çok kısa süre içinde sertleştiğinden yöntem çok hızlıdır ve elde edilen maçaların kalitesi de mükemmeldir.

Kabuk kalıplamanın geleneksel kum kalıplara **üstünlükleri** şunlardır:

- Hassas toleransların elde edilmesi mümkündür.
- Çok ince kum kullanıldığından yüzey kalitesi yüksektir.
- Makinalarla üretildiğinden seri üretime uygundur.
- Döküm daha düşük sıcaklıklarda yapılabilir ve daha ince cidarlar dökülebilir.
- Kalıplar hafiftir ve depolanabilir.



Şekil – 3.15. Kabuk kalıba döküm yönteminin aşamaları

Kabuk kalıba dökümün **sınırları** ise aşağıdaki gibidir:

- Metal malzemeden üretilen modeller pahalıdır ve bu nedenle yöntem ancak seri üretimde ekonomik olur.
- Kabuk kalıplama makinaları yüksek bir yatırım gerektirir.
- Dökülebilen parça boyut ve ağırlıkları sınırlıdır.
- Kuma bağlayıcı olarak reçine katıldığından kalıp malzemesi masrafları yüksektir.

### 3.4.7 Havada Sertleşen (Air-set) Kalıplar

Pişirme işleminin gerekli olmadığı bu yöntemde kalıp malzemesi kum, sıvı bir organik bağlayıcı ile uygun bir katalizatörün karışımıdır. Kalıp dayanımı sıvı reçinenin oda sıcaklığında polimerizasyonu ile sağlanır. Kalıp malzemesi modelin etrafına dökülüp sıkıştırılır ve en az 20 dakika beklendikten sonra model çıkarılır. Kalıp tam sertliğine ulaştıktan sonra döküm yapılır. Bu gruba giren bazı kalıp malzemelerinde sertleşme reaksiyonu kalıp içinden gaz halinde bir katalizörün geçirilmesi ile sağlanır.

### 3.4.8 Çimento Bağlayıcı Kalıplar

Kalıp malzemesi, kum , %8..12 çimento ve % 4..6 sudan oluşur. Kalıplama diğer kum kalıplarda olduğu gibidir. Model çıkarılmadan önce kalıp malzemesinin yeterli bir dayanıma kavuşması beklenir. Tam sertleşme için gerekli olan 72 saat sonrasında ise kalıp döküme hazır hale getirilir. Döküm sırasında ortaya çıkan yüksek sıcaklıklarda çimentonun kristal suyunu kaybetmesiyle oluşan nemin kalıbı terk edebilmesi için gerekli kalıp geçirgenliği sağlanmalıdır. Bu yöntem büyük parçaların dökümü için, dayanımı, yüzey kalitesi ve boyut hassasiyeti yüksek kalıpların üretiminde kullanılır. Kalıplama sırasında kumu sıkıştırma işlemleri daha az olup kurutma işlemine gerek yoktur. Kalıp ve maçaların dökümünden sonra dağılabilme özellikleri çok kötüdür.

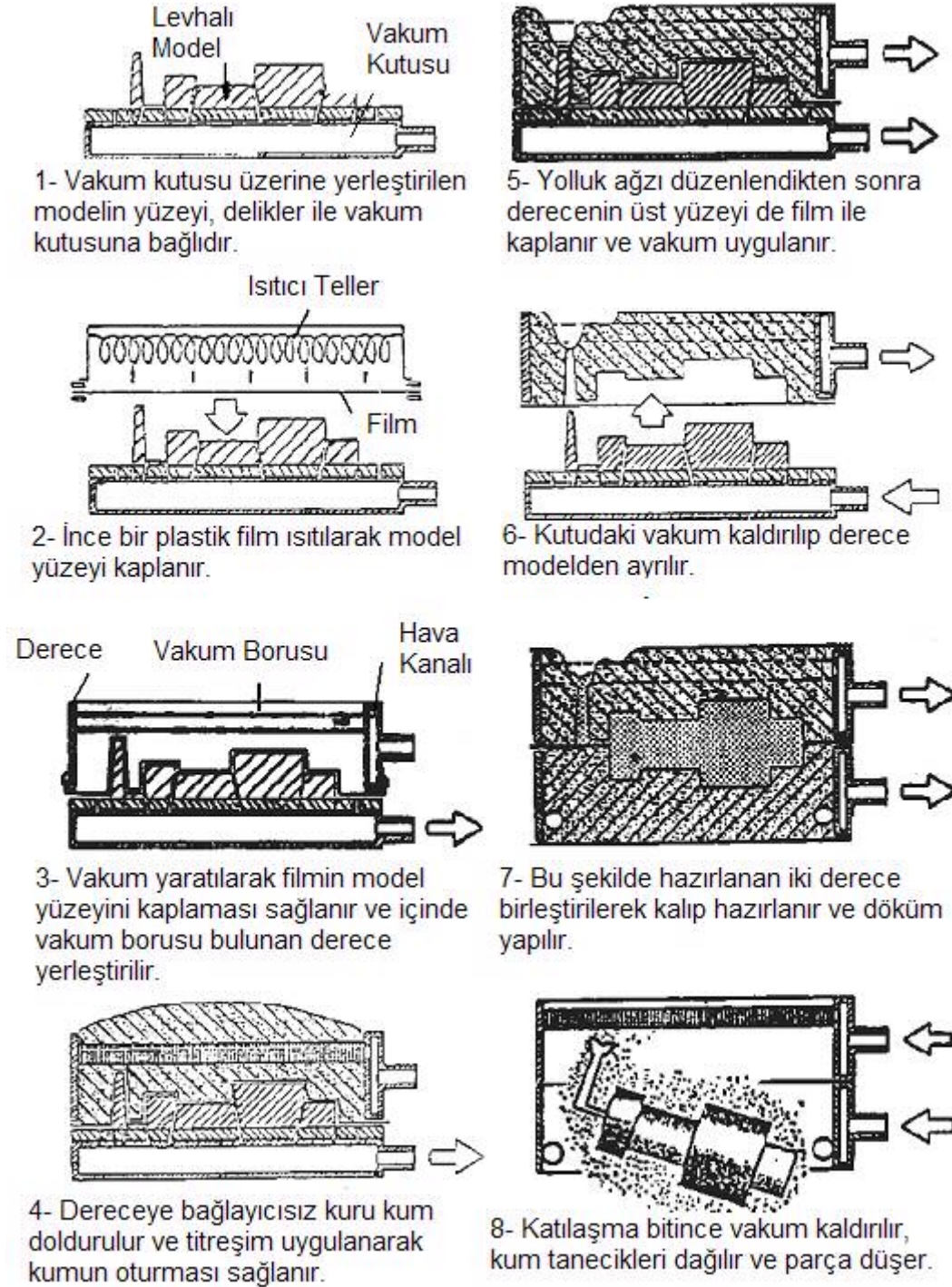
### 3.4.9 Vakumlu Kalıplama Yöntemi

Bu yöntem 1970'li yıllarda Japonya'da geliştirilmiştir. Kalıp malzemesi olarak bağlayıcı içermeyen ince taneli kuru kum kullanılır. Hafif bir titreşim uygulanmasından sonra, vakumun yarattığı alçak basınçla kum tanecikleri ince plastik folyolar arasında sıkıştırılarak kalıp hazırlanır. Yöntemin aşamaları Şekil 3.16'da görülmektedir. Vakumlu kalıplamanın başlıca **üstünlükleri** şunlardır:

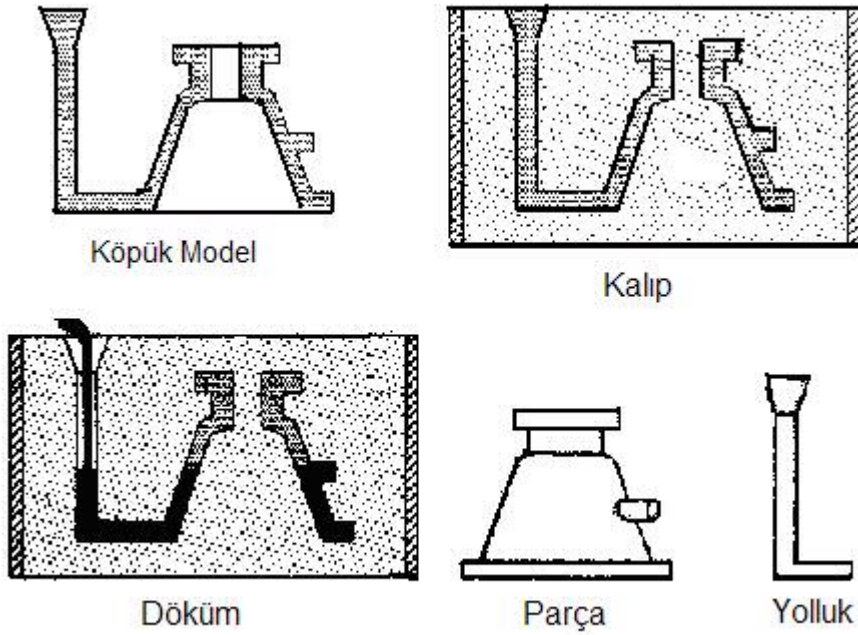
- Kalıplama sırasında model kolayca sıyrıldığından ve kalıbın her bölgesi aynı sertlikte olduğundan boyut hassasiyeti yüksektir.



- Döküm yüzeyi çok düzgündür.
- Kalıp hazırlama ve bozmada mekanik zorlamalar olmadığından aşınma ve gürültü en az düzeydedir.
- Döküm gazları vakum sistemiyle emildiğinden çalışma atmosferini kirletmezler.



Şekil – 3.16. Vakumlu kalıplama yönteminin aşamaları



Şekil 3.17 Dolu kalıba döküm

### 3.4.10 Dolu Kalıba Döküm

Dolu kalıba döküm yöntemi, yanarak gaz haline geçen **köpük modellerin** (polistiren) kullanıldığı bir kalıplama tekniğidir, Şekil 3.17. Bu model malzemesi testere, bıçak veya sıcak tel ile kesilerek model biçimlendirilir. Büyük modeller birçok parçanın birbirine yapıştırılması ile de oluşturulabilir. Kalıplama sonrasında köpük model kalıp içinde bırakılır (dolu kalıp) ve erimiş metal kalıba dökülünce model yanarak gaz halinde kalıbı terkeder. Böylece erimiş metalin köpük modelin yerini almasıyla parça biçimlenir.

Bu yöntemde yolluklar, çıkıcılar ve diğer tüm kalıp elemanları köpükten yapılır ve kumda kalıplanır. Modelin kalıptan çıkarılması söz konusu olmadığından, kalıbın iki parçalı olarak yapılmasına gerek yoktur. Burada model kalıptan çıkarılmadığından tüm girinti ve iç boşluklar kumla doldurulabilir. Modelin kalıptan çıkarılması halinde gerekecek eğimlerin verilmesine ve maça kullanılmasına gerek kalmaz. Köpüğün kalıplama sırasında biçim değiştirmemesi için dövülerek sıkıştırılan kum kalıplar yerine, CO<sub>2</sub>-yöntemi veya havada kendiliğinden sertleşen kalıp malzemelerinin kullanılması daha uygundur. Kalıplama tamamlandıktan sonra modelin dıştan ulaşılabilen kısımları bir gaz alevi ile yakılır. Modelin kalan kısımları sıcak metal ile temas sırasında tümüyle yanar. Sıvı metal, kalıba başlangıçta yavaş yavaş doldurulmalı ve hidrokarbonlar içeren yanma gazlarının herhangi bir patlamaya neden olmadan kalıbın içinde ve dışında yanmasına olanak sağlanmalıdır.

Köpük modeller, ahşap veya metal modellerle birlikte de kullanılabilir. Modelin kalıptan çıkarılması güç olan kısımları köpükten yapılarak kalıp içinde bırakılır ve bu kısımlar döküm sırasında yanarak bu bölgelere sıvı metalin dolması sağlanır. Bu sayede örneğin kalıbın istenen her noktasına besleyiciler yerleştirilebilir.

Dolu kalıba döküm tekniği özellikle, sadece az sayıda üretilecek büyük parçaların dökümünde kullanılmaktadır. Örneğin otomotiv endüstrisinde kullanılan pres kalıpları bu yöntemle üretilir. Teknik ve ekonomik bakımdan önemli avantajları olan bu yöntemin, küçük parçaların seri üretiminde de kullanılmasını sağlayacak araştırmalar sürdürülmektedir.

### 3.5. KUM ESASLI KALIP MALZEMELERİ

Kalıp ve maça yapımında kullanılacak refrakter özellikli ve en ucuz malzemeler kum esaslı karışımlardır. Bunların üç ana bileşeni vardır:

- Ana kütleyi oluşturan ve refrakterliği sağlayan kum tanecikleri,
- Taneleri bir arada tutan bağlayıcı (kil, çimento, reçine v.b.),
- Diğer özel katkıları.

Kaya ve cürufaların dağılması ve kırılması ile oluşan taneli parçacıklar kümesi, kum olarak adlandırılır. Kum, çapları 0,05 ile 2 mm arasında değişen küçük taneler, mineraller veya kayalar içeren bir karışımdır. En yaygın olarak doğada nehir, göl ve diğer sular ile eskiden yeraltı sularının bulunduğu bölgelerde bulunan **silis kumu** ( $SiO_2$ ) kullanılır. Ancak kum sözcüğü silis veya kuvarz gibi belirli bir minerali belirtmez; zirkon, olivin, kromit ve öğütülmüş seramik mineralleri de boyutları bakımından yukarıdaki sınırlar içinde ise kum olarak adlandırılırlar.

#### 3.5.1 Kum Özellikleri

**Tane Büyüklüğü ve Tane Dağılımı:** Kumun tane büyüklüğü ve tane dağılımı, kalıp kumu karışımının birçok özelliğini belirler. İnce taneli kum kullanılması halinde döküm parçanın yüzey kalitesi daha iyi olur. Buna karşın iri taneli kum içeren kalıpların gaz geçirgenliği daha yüksektir.

**Tane Biçimi:** Yuvarlak biçimli tanelerde tanelerarası temas yüzeyi küçük olduğundan geçirgenlik yüksektir. Yuvarlak taneli kumların akıcılık özelliğininin oluşu, makinalı kalıplamada önemli bir avantajdır. Köşeli taneler ise daha yoğun olarak istiflenebilirler. Köşeli tanelerde temas yüzeyi daha fazla olduğundan, kalıp malzemesinin dayanımı daha yüksektir.

**Refrakterlik:** Kumun refrakterliği (ısıya dayanıklılığı), çatlamadan veya birbirine kaynamadan dayanabildiği sıcaklıkla ilgilidir. Bu özellik, büyük ölçüde kumun türüne bağlıdır.

### 3.5.2 Bağlayıcı ve Diğer Katkılar

Bağlayıcılar, kuma sonradan katılan veya kum içinde kil gibi doğal olarak bulunan ve kum taneciklerinin birbirlerine tutunmasını sağlayarak, kalıp malzemesine dayanım kazandıran malzemelerdir. Bağlayıcılar, organik ve inorganik olarak ikiye ayrılır.

**İnorganik Bağlayıcılar:** En yaygın olarak kullanılan bağlayıcı kildir. Killerin bağlayıcılık etkisi, içerdiği su miktarına bağlı olarak değişir. Kum-kil-su karışımı olan kalıp malzemelerinin bileşimi % 80-90 kum, % 8-14 kil ve % 2-6 sudan oluşur. Kil dışındaki inorganik bağlayıcılara örnek olarak çimento ve silikatlar gösterilebilir.

**Organik Bağlayıcılar:** Bağlayıcı olarak kullanılan reçinelerin değişik bileşimlerde doğal ve yapay türleri vardır. Birçok reçinede sertleşme reaksiyonunun gerçekleşebilmesi için yüksek sıcaklıklar gereklidir. Diğer bir grup reçine de ise sertleşme bir katalizör yardımıyla oda sıcaklığında gerçekleştirilir.

Özellikle küçük maçaların elde edilmesinde yağ esaslı bağlayıcılardan yararlanılır. Bunlar pişirilerek dayanımlarını kazanırlar. Yağ esaslı bağlayıcılar neme duyarlı değildir.

Dökümhanelerde kullanılan tahıl bağlayıcılar ince öğütülmüş mısır, buğday ve çavdar unlarıdır. Bazı durumlarda melas gibi sıvı organik bağlayıcılar da kullanılır. Tahıllar % 0,25-2 arasında katılarak kalıp karışımlarının yağ veya kuru dayanımlarını arttırmak ve dağılabilme özelliğini geliştirmek için kullanılırlar. Ucuz tahıl bağlayıcılar, maça kumu karışımlarına da kolay üflenebilme ve dağılabilme özelliği sağlarlar. Tahıllar yaklaşık 260-370°C sıcaklıklarında yandıklarından, bağlayıcı görevini yerine getirdikten sonra kolaylıkla dağılırlar. Tahıl bağlayıcıların sakıncalı bir yönü hidroskopik olmaları ve bünyelerine nem alarak zamanla kalıp ve maçaların dayanımının düşmesine neden olmalarıdır.

**Diğer katkılar:** Bağlayıcı görevi yapmayan, ancak kum karışımlarının diğer özelliklerini geliştirmek için kullanılan değişik katkılar da vardır. Kum kalıp malzemesi katkıları arasında karbon içerikli malzemeler önemli bir yer tutar (kömür tozu, reçineler, zift, yağlar v.s.). Bunların erimiş metal ile teması sırasında kum tanecikleri bir karbon tabakası ile kaplanır ve kumun sıvı metal tarafından ıslatılması güçleşir. Böylece daha düzgün ve temiz yüzeyler elde edilir.

Kuma birçok kez yanıcı maddeler (kömür tozu, tahta talaşı, selüloz, kabuk v.b.) katılır, bunlar havanın oksijenini bağladığından yüzeyin oksitlenmesini bir ölçüde engeller ve temiz yüzeyli parçaların üretimi mümkün olur. Bu tür katkıların yanmasıyla ortaya çıkan boşluklar sayesinde:

- Kumun geçirgenliği artar.
- Sıcaklık etkisine maruz kalan kum taneciklerinin genleşebileceği bu bölgeler sayesinde, kalıpta biçim değişiklikleri ve çatlamlar önlenir.
- Döküm sonunda kalıp bozma işlemi kolaylıkla gerçekleştirilir.

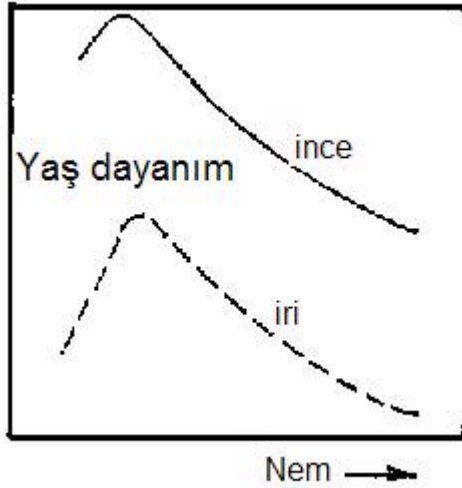
### 3.5.3 Kum Esaslı Kalıp Malzemelerinin Özellikleri

Kum esaslı kalıp malzemelerinin başlıca özellikleri dayanım, geçirgenlik, sertlik, akıcılık, kalıplanabilirlik ve genleşme olup, bunlar kullanılan kumun tane biçimi, tane büyüklüğü, tane dağılımı, bağlayıcı türü ve miktarı gibi faktörlerle belirlenir.

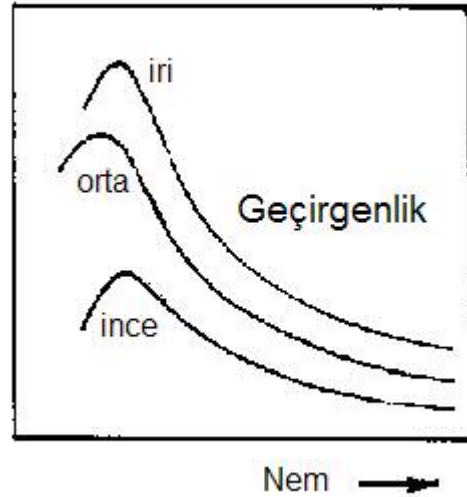
**Dayanım:** Kum esaslı kalıp malzemelerinin yaş, kuru ve yüksek sıcaklık dayanımları söz konusudur. Bu özellik, kalıbın biçimini koruma kabiliyetinin bir ölçüsüdür. Karışımdaki kum taneleri ne kadar ince ise belirli bir hacimdeki toplam bağlama yüzeyi o kadar fazla ve dolayısıyla dayanım o kadar yüksek olur. Ayrıca kum tanelerinin biçimi ve tane büyüklüğü dağılımı sıkı istiflenmeye ne kadar uygun olursa dayanım da o kadar artar. Dayanımı etkileyen önemli bir diğer faktör de bağlayıcının türü ve miktarıdır. Ancak bağlayıcı miktarının artması ile kalıp geçirgenliği olumsuz yönde etkileneceğinden, bağlayıcı miktarı için bir optimum değer aranır.

Kum-kil-su karışımları olan yaş kum kalıplarda dayanım, su miktarı ile çok değişir ve yüksek dayanımların elde edilebilmesi için su oranının çok iyi kontrol edilmesi gerekir (Şekil 3.18).

Kalıp malzemelerinin dayanımlarını ölçmek için basma, çekme, kesme ve eğme deneylerinin yapıldığı üniversal test cihazları geliştirilmiştir.



Şekil-3.18 Yaş kum kalıplarda dayanımın nem oranı ve tane büyüklüğü ile değişimi



Şekil - 3.19 Yaş kum kalıplarda geçirgenliğin tane büyüklüğü ve nem oranı ile değişimi

**Geçirgenlik** : Döküm sırasında oluşan buhar ve diğer gazların kalıp malzemesi içinden geçerek kalıbı terk etmesini sağlayan özelliği, geçirgenliktir. Yuvarlak biçimli tanelerde tanelerarası boşlukların hacim oranı en büyüktür. Geçirgenliğin olumsuz etkilenmemesi için kum karışımında bu boşlukları doldurabilecek çok küçük tanelerin bulunmaması gerekir. Ortalama tane büyüklüğü azaldıkça, taneler arasındaki aralıklar daralacağından, kalıbı terkeden gazın yüzey sürtünmesi ve daha sık yön değiştirmesi nedeniyle kalıbın geçirgenliği düşer (Şekil 3.19).

Bağlayıcı tür ve miktarı da geçirgenliği etkileyen önemli bir diğer parametredir. Bağlayıcı miktarının artmasıyla tanelerarası boşluklar dolup geçirgenlik düşeceğinden, dayanım ve geçirgenlik birlikte düşünülerek optimum bir bağlayıcı miktarı aranır.

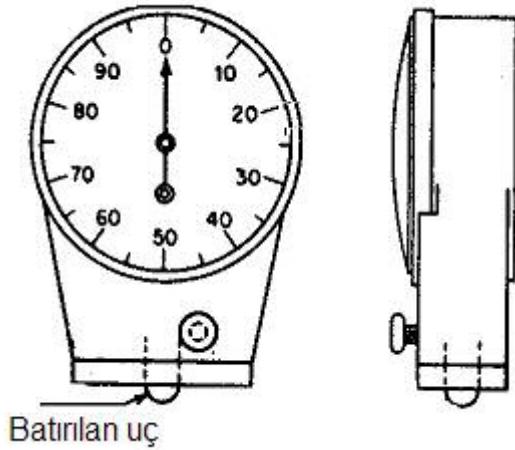
Yaş kum kalıplarda kil oranı sabit tutulursa, su miktarı hem dayanımı, hem de geçirgenliği belirler. Suyun optimum değerden az veya çok olması hem dayanımın, hem de geçirgenliğin düşmesine neden olur (Şekil 3.18 ve 3.19) . Kum tanecikleri arasındaki boşluklar, su miktarı az ise kuru kil tanecikleri, su miktarı fazla ise bu kez de su ile dolacağından geçirgenlik her iki durumda da düşer.

Kalıp malzemelerinin geçirgenliğinin ölçülmesinde kullanılan standart deneyler geliştirilmiştir, bu deneylerin prensibi, standart bir deney parçasından belirli bir basınç altındaki havanın geçiş hızının ölçülmesine dayanır.

**Sertlik:** Yaygın olarak kullanılan diğer bir yöntem de kalıp sertliğinin ölçülmesidir. Burada kalıp yüzeyine belirli bir kuvvetle batırılmak istenen bilyanın dalmasına karşı kalıp malzemesinin gösterdiği direnç ölçülür. Şekil 3.20'de bir sertlik ölçme cihazı

görülmektedir. Kalıp sertliğinin artırılması, döküm yüzeyinin kalitesini ve boyut hassasiyetini olumlu yönde, geçirgenliğini ise olumsuz yönde etkiler.

Kalıp sertliğinin ölçülmesinin pratikteki yararı, kalıbı sıkıştırma derecesinin ayarlanmasına imkan vermesidir. Kalıplama makinaları ayarlanarak veya yöntemde küçük değişiklikler yapılarak sertlik istenen sınırlar içinde tutulur. Aynı kalıbın değişik bölgelerindeki sertliklerin farklı olması halinde kullanılan kumun özelliklerinin veya sıkıştırmanın homojen olmadığı anlaşılır.



Şekil – 3.20 Sertlik ölçme cihazı

**Isıl kararlılık:** Sıvı metal ile temas eden kalıp malzemesinin çatlamadan veya birbirine kaynamadan dayanabildiği sıcaklıkla ilgilidir. Bu özellik, büyük ölçüde kumun türüne bağlı ise de döküm sırasında metal oksitleri gibi refrakterliği düşük katışkıların kumun bünyesine girmesi ile olumsuz etkilenebilir.

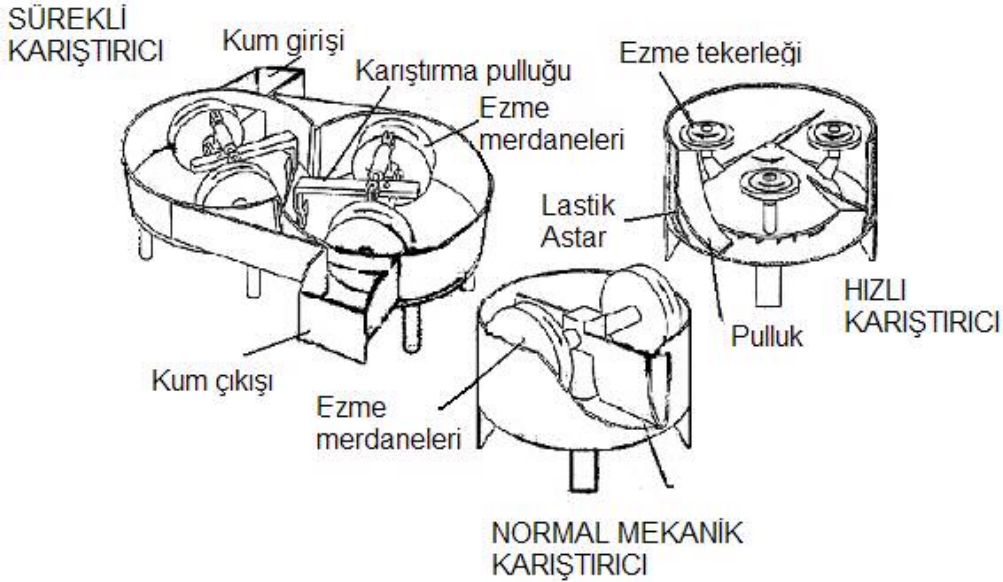
**Genleşme:** Döküm sırasında ısınan kum tanecikleri genleşeceğinden, aşırı sıkıştırılmış kum kalıplarda çatlama ve dökülmeler görülebilir. Bu nedenle kalıp malzemesi, kum tanelerinin genleşmesine olanak tanıyacak şekilde hazırlanmalıdır:

- Kalıp karışımına ısınınca eriyen, hacmi azalan veya gaz haline geçen maddeler katılmalıdır.
- Kalıp kumunu aşırı sıkıştırmaktan kaçınılmalıdır.

**Yüzey kalitesi:** Kum ne kadar ince taneli olursa, üretilen döküm parçanın yüzey kalitesi de o kadar iyi olur. Yüzey kalitesi geçirgenlikle ters orantılıdır, kumun sıkıştırılması ve taneler arası boşlukların azalması ile artar.



**Yeniden Kullanılabilirlik:** Kalıbın bozulmasından sonra kalan kumun yeniden kullanılabilir olması çok önemlidir. Kumun ufalanma özelliği ve mevcut bağlayıcının türü aynı kumun kaç kez tekrar kullanılabileceğini belirler.



Şekil – 3.21 Mekanik kum karıştırıcılar

### 3.5.4 Kum Yenileme ve Taşıma

Kalıplamada kullanılan kum, dökümden sonra başlangıçtaki özelliklerini kısmen kaybeder. Eski kumun, kalıplamada yeniden kullanılabilmesi için aşağıdaki işlemler yapılır:

- Eski kum topakları ufalanır.
- Metal parçacıkları ayrılır (manyetik ayırıcı).
- Tozu ayrılır, elenir ve soğutulur.
- Su (bağlayıcı kil ise), bağlayıcı ve yeni kum katılarak karıştırılır.

Dökümhanelerde kalıp ve maça üretimi için büyük miktarlarda kum kullanıldığından, kum karışımlarının hazırlanmasında genellikle makinalardan yararlanılır. En küçük dökümhanelerde dahi karıştırma işlemi için basit bir mekanik karıştırıcı bulunur. Bir demir dökümhanesinde dökülen 1 ton metal için yaklaşık 5 ton kum kullanılır. Bu kumun karıştırıcılara getirilmesi ve hazırlanan karışımın kalıplama bölümüne iletilmesi için bantlı, kepçeli veya havalı konveyör sistemlerinden yararlanılır. Karıştırıcılara kum, kil, su



ve diğer katkıları otomatik olarak tartılıp doldurulur. Hazırlanan kum karışımı ise genellikle konveyörlerle kalıplama makinalarının haznelere gönderilir.

### 3.5.5 Yüzey Kaplamaları

Kum esaslı kalıp ve maçaların sıvı metal ile temas edecek yüzeylerine döküm öncesinde değişik amaçlarla kaplamalar uygulanır:

- Yüzey kalitesini artırmak.
- Sıvı metalin kalıp malzemesine doğrudan temasını engelleyerek, kum tanecikleri arasına sızmasını ve kum taneciklerinin parça yüzeyine yapışmasını önlemek.
- Isı yalıtımı sağlayarak, kalıp malzemesini korumak.

Bu kaplamalar, taşıyıcı bir sıvı içinde süspansiyonu olarak hazırlanır. Kaplama malzemesi olarak kömür tozu, grafit, kuvarz, şamot, zirkonsilikat v.b. malzemeler, taşıyıcı sıvı olarak ise su veya alkol söz konusudur. Bu süspansiyonlar kalıp veya maça yüzeylerine püskürtme, fırçayla sürme, daldırma v.b. yöntemlerle tatbik edilirler.

Yüzey kalitesini arttırmak ve kalıp boşluğu yüzeylerindeki kumun kalkmasını önlemek için kalıp yüzeyi, refrakter bir malzeme püskürtülerek kaplanabilir. Püskürtülen bu sıvılar genellikle su, refrakter malzeme ise bentonit, tahıl veya melas gibi bir bağlayıcının karışımıdır. Kalıp yüzeyine fırça ile grafit tozu da sürülebilir. Bazen su yerine alkol veya diğer uçucu sıvılar kullanılır. Bu şekilde kalıp hazırlandıktan sonra yüzey tutuşturularak hem bu çözücüler giderilir, hem de açığa çıkan ısı ile yeterli bir kurutma sağlanır. Ancak döküm sırasında gaz oluşumuna engel olmak için bu çözücü sıvıların tam olarak yakılması çok önemlidir.

## 3.6 KUM KALIPLAMA MAKİNALARI

Değişik büyüklük ve biçimlerde tonlarca parçanın üretildiği dökümhanelerde mekanizasyondan değişik amaçlarla yararlanılabilir. Her bir dökümhane için uygun olan mekanizasyonun seviyesini, üretilen parçanın boyut ve türü, toplam kapasite ve aynı parçadan kaç adet üretileceği gibi faktörler belirler. Küçük dökümhanelerde basit birkaç işlemler mekanizasyondan yararlanılabileceği gibi, belirli bir alanda uzmanlaşmış veya sürekli olarak aynı parçayı üreten dökümhanelerde işlemlerin tümünün otomatik kontrollu makinalarda yapılması düşünülebilir. Kalıplama işlemlerindeki mekanizasyon, kalıp kumunu sıkıştırma ve model levhasını çıkarma işlemlerini içerir. Kalıp üretiminde kumu sıkıştırmak için dört temel yöntem söz konusudur: ezme, sarsma, savurma ve üfleme, Şekil 3.22.

**Ezme makinaları**, kalıp yüzeyine basınç uygulayarak kumu sıkıştırır ve bu amaçla genellikle mekanik ve pnömatik sistemlerden yararlanır. Bu işlemde ezmenin uygulandığı yüzeydeki sertlik en yüksektir ve ezme yüzeyinden uzaklaştıkça sıkıştırmanın etkisi azalır. Dolayısıyla bu yöntem fazla derin olmayan kalıplar için daha uygundur.

**Sarsma** yönteminde kalıbı taşıyan tabla kaldırılıp düşürülerek her darbeye kum tanelerine etkiyen frenleme kuvvetleri ile sıkıştırma sağlanır. Sarsma yönteminde de pnömatik sistemlerden yararlanır. Sıkıştırma derecesi, kalıbın yüksekliğine ve uygulanan darbe sayısına bağlıdır. Burada kalıp sertliği, kum ile modelin birleştiği ara yüzeyde en yüksek olup, gevşek kalan en üst yüzeyin çoğunlukla sonradan elle sıkıştırılması gerekir. Kalıbın hem altında hem de üstünde üniform bir sertlik elde edebilmek için, yukarıda anlatılan ezme ve sarsma yöntemlerinin birlikte uygulandığı ezme-sarsma makinaları yaygın olarak kullanılır.

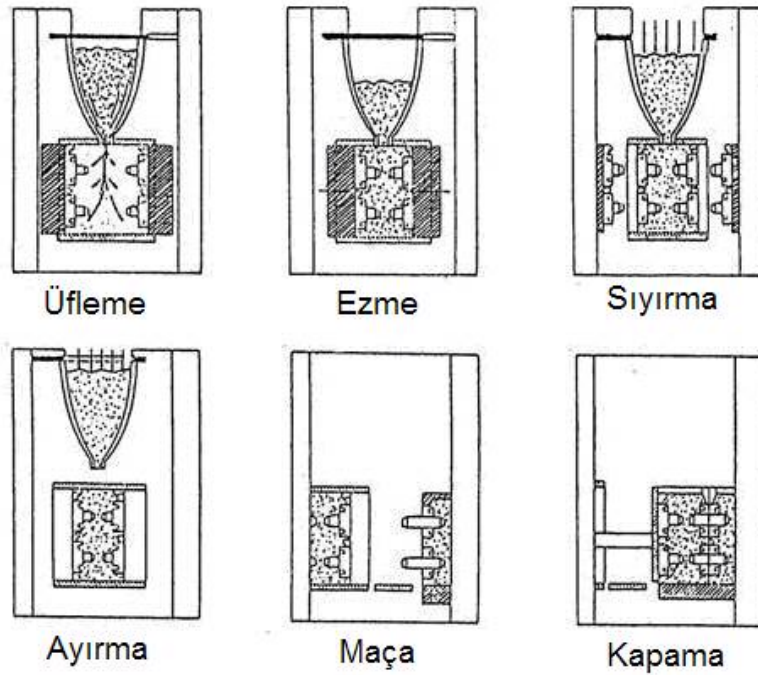
Kalıplama Yöntemi ve Özellikleri	Çizgilerin Sıklığı Kalıp Sertliğini Belirler.
<p><b>ELLE DÖVME</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Sertlikte yerel farklılıklar oluşur.</li> <li>2. Güç ve yavaş bir yöntemdir.</li> <li>3. Büyük yatırım gerektirmez</li> <li>4. Deneyimli işçi gerektirir.</li> <li>5. İşçilik maliyeti yüksektir.</li> </ol>	
<p><b>SARSARAK SIKIŞTIRMA</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Kalıp kaldırılıp düşürülür.</li> <li>2. Darbeleri ve gürültülü çalışır.</li> <li>3. Sıkışma alt tarafta daha fazladır.</li> <li>4. Siğ profiller için uygundur.</li> </ol>	
<p><b>EZEREK SIKIŞTIRMA</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Sıkışma üst kısımda daha fazladır.</li> <li>2. Küçük parçalar için daha uygundur.</li> </ol>	
<p><b>SAVURMA ve ÜFLEME</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. İşlem hızlıdır.</li> <li>2. Sıkıştırma homojendir.</li> <li>3. Yüksek yatırım gerektirir.</li> </ol>	

Şekil 3.22 Kalıp kumu sıkıştırma yöntemleri

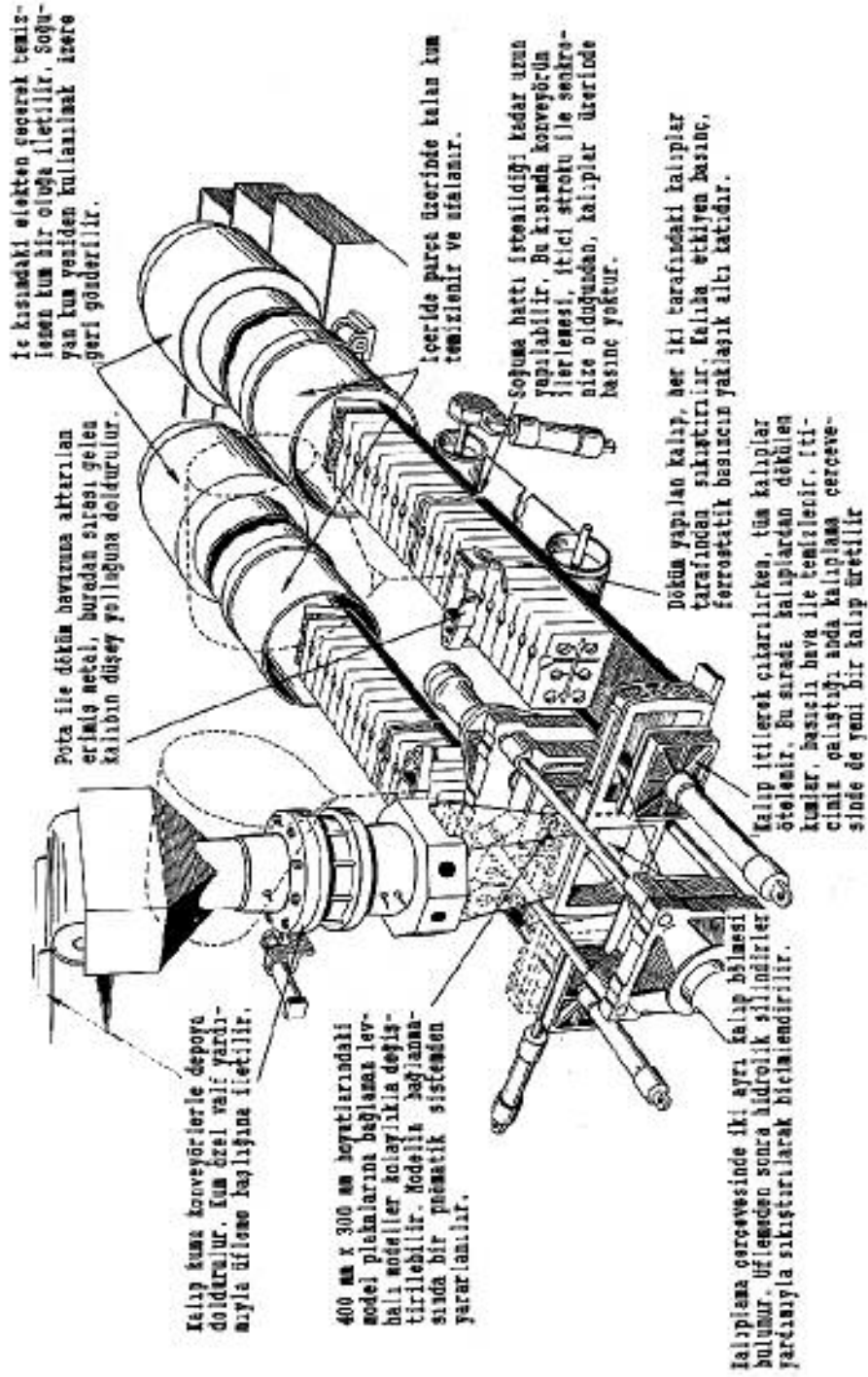
Modern dökümhanelerde kullanımı giderek yaygınlaşan bir diğer yöntem de kum karışımının kalıba basınçlı hava yardımıyla veya mekanik olarak savrulularak doldurulduğu **üfleme** ve **savurma** teknikleridir. Bu sayede homojen bir kalıp sertliği elde edilir.

Kum kalıp hazırlamada otomasyonun en gelişmiş örneği, Şekil 3.24'te görülen ve saatte 750 adet kalıbın üretilbildiği **derecesiz kalıplama makinalarıdır**. Tümüyle otomatik olan bu sistemde kalıplama bir çerçeve içinde gerçekleştirilir. Yöntemde derece kullanılmaz, kalıplar kumun üflenerek metal bir kalıp kutusuna doldurulması ve hidrolik olarak hareket ettirilen model levhalarının kumu sıkıştırmasıyla biçimlendirilirler. Daha bu derecesiz kalıp blokları, kalıplama çerçevesinin devamı olan oluklar içinde itilir ve konveyörler üzerinde iki sıra olarak ilerler. Sıkıştırılan kalıp, oluğa itildikten sonra sonraki kalıp için aynı işlemler tekrar edilir. Kalıpların ön ve arka yüzeylerinde oluşturulmuş boşlukların yan yana gelmesiyle, iki kalıp arasında döküm boşluğu ortaya çıkar. Oluk içinde sıralanmış kalıpların arasındaki döküm boşluklarının erimiş metal ile doldurulması da sürekli olarak yapılır. Hattın sonunda kum blokları tamburlara düşürülür ve kalıplar bozulduktan sonra soğutulan kum, tekrar geriye gönderilerek yeniden kullanılmak üzere hazırlanır. Dökülen parçalar ise konveyörler yardımıyla temizleme bölümüne iletilir.

Seri üretim yapılan dökümhanelerde kalıplama makinalarının kullanılmasıyla deneyimli işgücüne gerek kalmadan, üniform kalıplar ve döküm parçaları elde edilmesi mümkündür; böylece üretim hızı artar ve kusur sayısı azalır. Ancak bu makinaların gerektirdiği büyük yatırımlar, sürekli ve seri üretimlerde ekonomik olabilir. Diğer bir sınırlama da, çok büyük ve karmaşık kalıpların makinalarla hazırlanmasının mümkün olmayışdır.



Şekil 3.23 Derecesiz kalıplama makinasındaki işlemlerin şematik gösterimi



3.24 Derecesiz Otomatik Kalıplama Makinası

## 4 DİĞER DÖKÜM YÖNTEMLERİ

Çok yaygın olarak kullanılan kum kalıba döküm yöntemleri dışında, diğer ihtiyaçlara cevap verebilmek amacıyla değişik döküm teknikleri geliştirilmiştir. Bu yöntemlerin temel farkı kullanılan kalıp malzemesi olup, bunun yanında model ve kalıplama tekniklerinde de değişik uygulamalar görülmektedir.

### 4.1 HARCANAN KALIP KULLANILAN YÖNTEMLER

#### 4.1.1 Hassas Döküm

Bu yöntemde mum ve benzeri modeller, harç halindeki refrakter bir malzeme içine gömülerek kalıp hazırlanır, kalıplama sonrasında kalıp ısıtılır ve mum model malzemesi eritilerek kalıptan dışarı akıtılarak kalıp boşluğu oluşturulur. Hassas döküm asırlardan beri bilinen çok eski bir döküm yöntemidir. Yöntemin günümüzden 3000 yıl önce Mısır'da ve Şang hanedanı döneminde Çin'de kullanıldığı bilinmektedir. Hassas döküm tekniği 2.Dünya Savaşına kadar ticari olarak sadece kuyumcu ve dişçiler tarafından uygulanmış; daha sonra özellikle uçak, tekstil, elektronik ve makina sanayinde hassas parçalara duyulan ihtiyaç, yöntemin endüstriyel uygulamasını yaygınlaştırmıştır.

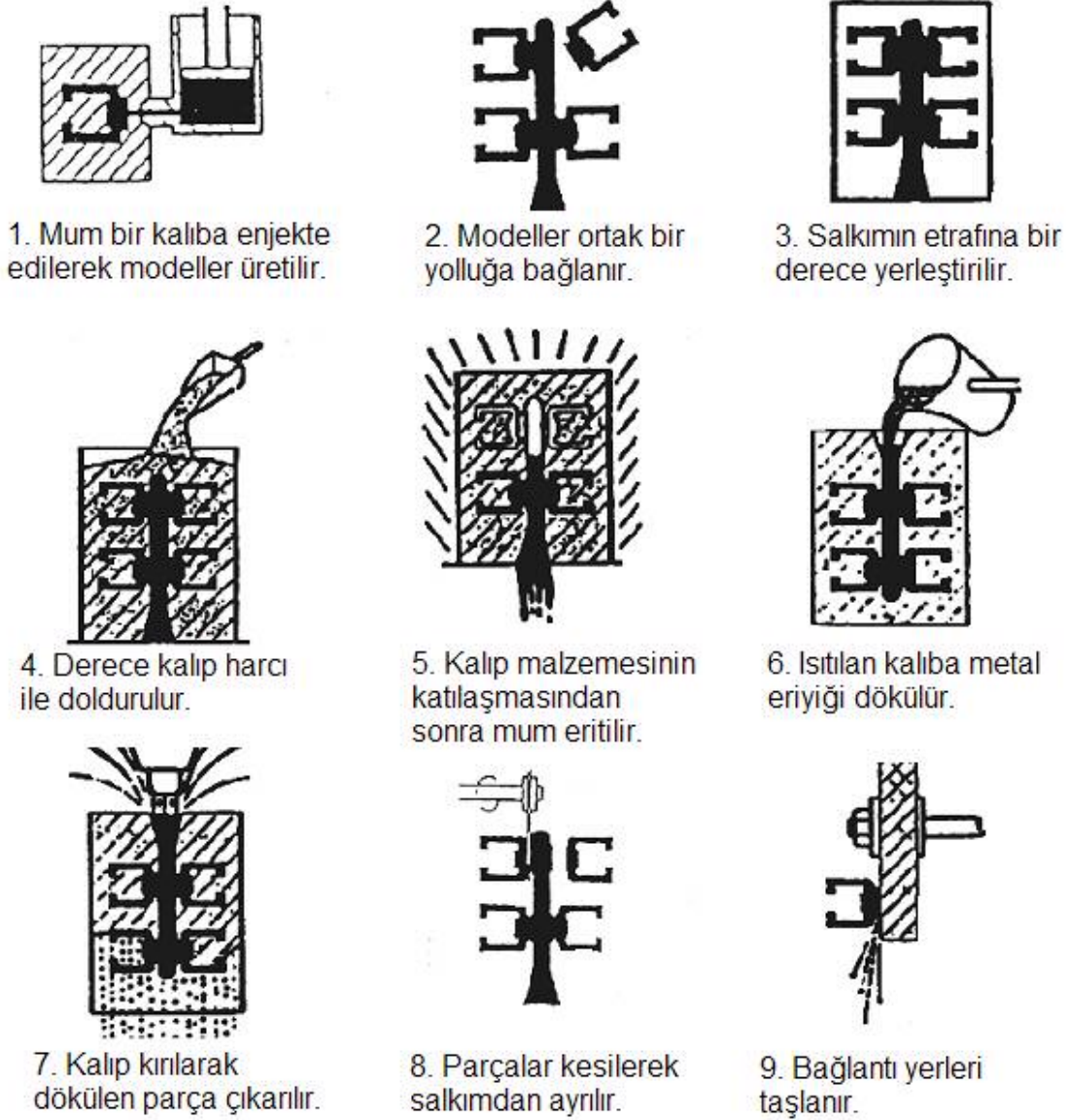
Üretilecek her parça için ayrı bir model hazırlanmasının gerekli olduğu hassas dökümde mum, plastik, donmuş cıva v.b. modeller kullanılır. Modeller, mum veya plastiğin metal bir kalıba enjeksiyonu ile üretilir ve çok sayıda model, ortak bir yolluğa bağlanarak salkım şeklinde düzenlenir. Dökülen metalin türü, parça boyutları, istenen soğuma hızı gibi faktörlere bağlı olarak aşağıdaki iki farklı kalıplama yönteminden biri seçilir:

- a) Dereceli hassas döküm
- b) Seramik kabuklu hassas döküm

#### ***Dereceli hassas döküm (Şekil 4.1a)***

Yukarıda açıklanan şekilde hazırlanan mum model salkımı, önce bir refrakter çamura daldırılarak ön kaplama yapılır. Düşük sıcaklıkta eriyen metaller için gerekli olmayan bu ön kalıplamadan sonra, model salkımı paslanmaz çelik bir derece içinde refrakter bir karışımla kalıplanır. Kalıplama masasına titreşim uygulanarak kalıp harcının yerleşmesi ve modeli tümüyle sarması sağlanır. Kurutmadan sonra kalıplar ters çevrilir ve 95°...150°C sıcaklığa ısıtılarak mum eritilir ve dışarı akıtılır. Dökümden önce kalıbın dökülecek metale uygun bir ön sıcaklığa getirilmesi gerekir. Bu sıcaklık, örneğin pirinçte

870°C, demir esaslı alaşımlarda ise 1050°C civarındadır. Sıvı metalin kalıba doldurulması ve katılaşmadan sonra, kalıp kırılıp çıkarılan metal salkımdan parçalar kesilerek ayrılır ve bağlantı yerleri taşlanarak düzeltilir.



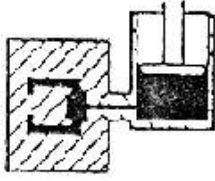
Şekil 4.1a Dereceli hassas döküm yöntemi

### **Seramik Kabuklu Hassas Döküm (Şeki1 4.1b)**

Çelik gibi yüksek sıcaklıklarda eriyen (>1100°C) alaşımlar için refrakterliği daha iyi bir kalıp malzemesi gereklidir. Genellikle seramik olan bu kalıp malzemesi pahalı olduğundan model salkımı etrafında sadece seramik bir kabuk oluşturulur. Burada mum salkım, çabuk sertleşen bir refrakter çamura daldırıldıktan sonra, bir akışkan yatak veya yağmurlama kabininde refrakter tozu ile kaplanır. Bu şekilde oluşturulan ince kabuğun sertleşmesi beklendikten sonra aynı işlem arzulanan kabuk kalınlığı (5...15 mm) elde



edilene kadar tekrarlanır (6...8 kez). Son olarak pişirilen kabuk, ön ısıtılarak döküme hazır hale getirilir.



1. Mum bir kalıba enjekte edilerek modeller üretilir.



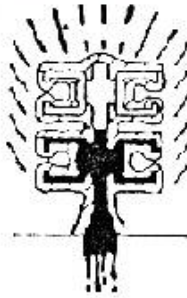
2. Modeller ortak bir yolluğa bağlanır.



3. Model çamuru refrakter çamura daldırılır.



4. Salkım refrakter tozla kaplanır, istenilen kalınlık elde edilene kadar 3. ve 4. adımlar tekrarlanır.



5. Kalıp malzemesini katılaşmasından sonra mum eritilir.



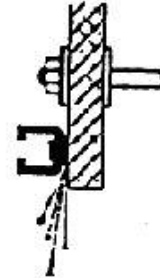
6. Isıtılan kalıba metal eriyiği dökülür.



7. Kalıp kırılarak dökülen parça çıkarılır



8. Parçalar kesilerek salkımdan ayrılır.



9. Bağlantı yerleri taşlanır.

Şekil 4.1b. Seramik kabuklu hassas döküm yöntemi

Hassas dökümün **üstünlükleri** aşağıda özetlenmiştir:

- Küçük ve karmaşık biçimli parçaların üretimi uygundur.
- Boyut hassasiyeti ve yüzey kalitesi mükemmeldir.
- Genellikle ek işlemlere gerek kalmadığından, işlenmesi güç malzemelerin dökümünde tercih edilir.
- Kalıp tek parçalı olduğu için parça yüzeyinde bölüm düzleminin izi kalmaz.
- Mum kalıp malzemesi tekrar tekrar kullanılabilir.

Yöntemin **sınırları** ise şunlardır:

- Her bir parça için ayrı bir modelin üretilmesi gerekir.
- Yöntem mekanizasyona uygun olmayıp, üretim hızı ve kapasitesi düşüktür.
- Model ile kalıp malzemelerinin pahalı olması ve üretimin çok sayıda işlem içermesi nedeniyle parça maliyeti yüksektir.
- Genellikle 5 kg'dan küçük parçaların dökümüne uygundur.

#### 4.1.2 Alçı Kalıba Döküm

Günümüzden 3000...4000 yıl önce Çinliler tarafından da kullanıldığı bilinen alçı kalıplar, genellikle bakır ve alüminyum alaşımları gibi düşük sıcaklıkta eriyen demir dışı malzemelerin dökümünde kullanılır. Dayanımı düşük model malzemelerinin kullanılması halinde (örneğin mum, kum gibi) dövülerek sıkıştırılan kalıp malzemeleri uygun olmadığından başlangıçta sulu harç halinde olan alçı tercih edilir.

Alçı kalıplar, iki veya daha çok parçalı yapılı ve kum kalıplar gibi bir bölüm yüzeyi içerirler. Kalıp malzemesi, 100 ölçü alçı ile 160 ölçü suyun krem kıvamına ulaşana kadar karıştırılmasıyla hazırlanır. Değişik katkıları kullanılır, örneğin kalıbın çatlamasını önlemek için % 20 oranında talk, katılma süresini uzatmak için ise kaolin ve magnezyum oksit gibi katkıları kullanılır. Bunların dışında dayanım, genleşme gibi değişik özellikleri kontrol etmek için kireç, çimento, asbest elyaf, silis unu gibi maddeler ilave edilebilir. Karıştırma hızının uygun seçilmesi önemlidir; çok hızlı karıştırılırsa harcın bünyesine hava gireceğinden gözenekler oluşabilir; çok yavaş karıştırmada ise harcın katılması söz konusudur.

Alçı başlangıçta  $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2 \text{H}_2\text{O}$ , yani yarım sulu haldedir. Harcın katılması sırasında su ile reaksiyona girerek iki sulu ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) hale dönüşür. Sulu harcın model üzerine dökülmesinden sonra ilk sertleşme gerçekleşir ve model kalıptan çıkarılarak kalıp  $200^\circ\text{C}$  sıcaklıkta birkaç saat kurutulur. Bu şekilde tüm suyu giderilen kalıp, susuz kalsiyum sulfat ( $\text{CaSO}_4$ ) haline dönüşür. Kurutulmuş kalıpların yeniden nem alması önlenmelidir, çünkü nem alçının zaten düşük olan gaz geçirgenliğini çok olumsuz etkiler. Ayrıca hazırlanan kalıplar çok kırılabilir olup, taşımada özen gösterilmelidir.

Alçı kalıpta üretilen parçaların döküm yüzeyleri çok temiz olup, dar toleranslar elde edilebilir. Alçının dayanımı düşük olduğundan, bu yöntemle genellikle ağırlıkları 10 kg'dan daha düşük olan parçalar üretilir. Ayrıca alçı kalıbın refrakterliği çok iyi olmadığından düşük sıcaklıklarda eriyen alüminyum, magnezyum ve bakır alaşımlarının dökümünde kullanılır. Alçının ısı iletimi düşük olduğundan soğuma yavaş ve üniform olur. Bu nedenle alçı kalıba döküm yöntemi büyük kesit farklılıklarının bulunduğu karmaşık parçaların



dökümü için uygundur. Hızlı soğumanın gerektiği bölgelere soğutma plakaları yerleştirilebilir.

Alçı kalıpların en zayıf yönü gaz geçirgenliklerinin düşük oluşudur. Kalıbın geçirgenliğini arttırmak amacıyla değişik teknikler geliştirilmiştir:

- Dökümden hemen önce kalıp boşluğundaki hava emilir.
- Alçıya kalıplama sırasında bir köpükleştirici katılarak kalıp gözenekli ve daha geçirgen hale getirilir
- Antioch yönteminde ise kalıp malzemesine %50'ye yakın kum katılır. Hazırlanan kalıpların bir otoklav içinde buhar altında önce nem alması sağlanır ve daha sonra pişirilerek kurutulur. Bu işlemler sonunda iğne biçimli alçı taneleri küreleşir ve kalıbın gaz geçirgenliği artar.

#### 4.1.3 Seramik Kalıba Döküm

Seramik kalıba döküm yöntemi, uygulama bakımından alçı kalıba döküm yöntemine benzerdir. Ancak seramik kalıp malzemesi daha yüksek döküm sıcaklıklarında kullanılabilir ve çelik gibi malzemelerin dökümüne uygundur. Kalıp malzemesi hassas dökümden kullanılan seramik kalıp malzemelerine benzerdir. Hassas dökümden farkı, modellerin tekrar kullanılabilmesi ve yöntemin standart dökümhane imkanlarıyla uygulanabilmesidir. Ayrıca seramik kalıba dökümden, hassas dökümden olduğu gibi boyut sınırlaması yoktur ve özellikle yüksek sıcaklıkta eriyen metallerden karmaşık biçimli, yüzey kalitesi yüksek, boyutları hassas ve kusursuz döküm parçaların üretilmesi mümkündür. Bu nedenle seramik kalıba döküm, alçı kalıbın refrakterlik bakımından yetersiz kaldığı ve boyut bakımından mum modellerin kullanılmasının mümkün olmadığı veya üretilecek parça adedi bakımından mum modelin üretiminde kullanılan metal kalıba yatırım yapmanın maliyet ve zaman bakımından uygun olmadığı durumlarda tercih edilir.

Bu yöntemde ahşap, alçı veya metalden üretilmiş modellerin üstüne refrakter tanecikler ve bir seramik bağlayıcıdan oluşan harç dökülür. Genellikle bir jel yapıcı içeren bu karışımın jelleşmesi beklendikten sonra model çıkarılır. Daha sonra karışımın içindeki uçucu maddeler bir üfleçle yakılır ve kalıp pişirilir. Sonuçta çelikler de dahil olmak üzere tüm metallerin dökülebileceği yüksek refrakter özellikte bir kalıp elde edilir. Dökümden önce ısıtılmaları gereken bu kalıplar çok pahalıdır ve bu nedenle kalıbın sadece metalle temas eden 3...10 mm kalınlığındaki kısmının seramik bir kabukla kaplı olduğu **karma kalıplar** geliştirilmiştir. Kalıbın diğer bölgelerinde kullanılan malzeme, iri taneli şamot olup CO<sub>2</sub>-yöntemiyle kalıplanabilir. Toleranslar, küçük parçalarda 0,002 mm/mm, büyük

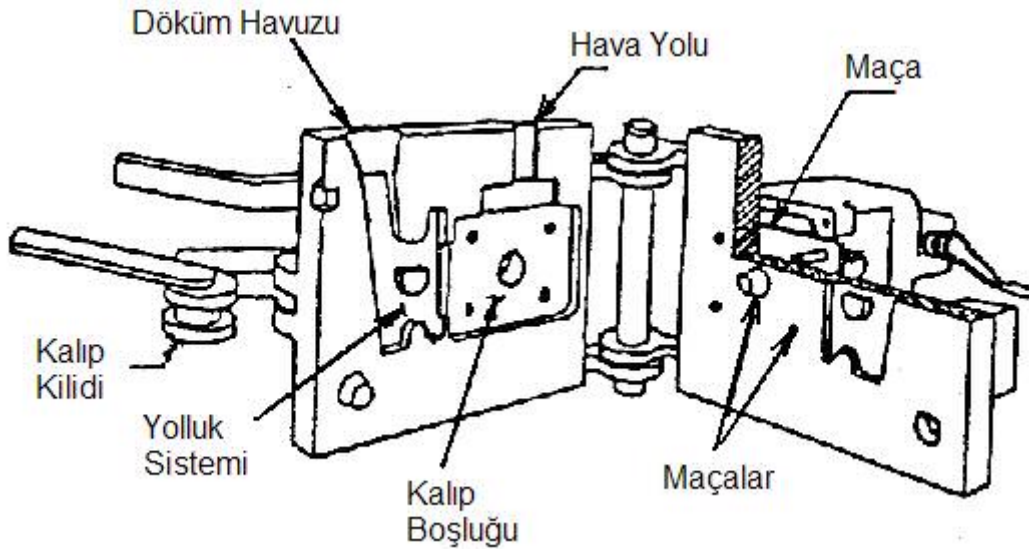
parçalarda ise 0,010 mm/mm sınırları içinde tutulabilir. Yüzey pürüzlülüğü 3 µm civarındadır.

Seramik kalıpların özelliklerini daha da mükemmelleştirmek için değişik patentler alınmıştır. Örneğin kalıp 4...5 saat süreyle pişirilerek, kalıp malzemesinde üç boyutlu bir ağ şeklinde düzenlenmiş mikro çatlaklar oluşturulur. Bu çatlaklar erimiş metalin giremeyeceği kadar dar olmalı, ancak döküm sırasında ısınan seramik parçacıkların genişlemesine izin vererek kalıbın boyutlarının değişmemesini sağlamalıdır. Bu mikro çatlakların varlığı kalıbın bir miktar geçirgenlik kazanmasını da sağlar.

## 4.2 KALICI KALIP KULLANILAN YÖNTEMLER

### 4.2.1 Kalıcı Kalıba Döküm

Döküm teknolojisinde erimiş metal, kalıcı (genellikle metal) kalıplara dökülerek de biçimlendirilebilir. Bu yöntem çok sayıda üretilecek, karmaşık biçimli ve boyut toleransları dar parçalar için tercih edilir. Kalıp malzemesinin dökülecek metalin gerektirdiği refrakterliğe sahip olması gerekir ve çoğu zaman özel kalite dökme demir veya çelik kullanılır. Düşük sıcaklıkta eriyen metallerin dökümü için



Şekil - 4.2 Mentşeli bir kokil kalıp

kalıp malzemesi olarak bronz da kullanılabilir. Kokil dökümde tek bir kalıpla demir esaslı malzemelerden 3000...10000, alüminyum gibi düşük sıcaklıkta eriyen malzemelerden ise 100000'e kadar parça dökülebilir.

**Metal (kokil) kalıba döküm** yönteminde katılaşma sırasındaki soğuma, kum kalıplardan daha hızlı olduğu için iç yapı daha ince tanelidir. Boyut hassasiyeti  $\pm 0,25$  mm olup, parça yüzeyleri temizleme işlemi gerektirmeyecek kadar yüksek kalitelidir. Metal kalıplarda kullanılan maçalar metal, kum veya alçıdan yapılabilir. Maçaların metal malzemedan, yani kalıbın bir parçası olması durumunda, bunların biçimi parçanın soğuyarak büzülmesi sonrasında çıkarılmasını zorlaştırmayacak şekilde olmalıdır. Bu mümkün değil ise, metal olmayan maçalar da (kum) kullanılır ve yöntem, yarı kalıcı kalıba döküm olarak adlandırılır. Kalıp ömrünü arttırmak için kalıp boşluğu döküm öncesi refrakter malzemelerle kaplanır ve bu sayede parçanın kalıptan çıkarılması da kolaylaşır.

Kokil kalıplar genellikle açılıp kapanan iki veya daha çok parçadan oluşur, Şekil 4.2. Kalıp kapandıktan sonra oluşan boşluğa erimiş metal dökülür ve katılaşma beklendikten sonra kalıp açılarak parça çıkarılır. Bu işlemler elle yapılabileceği gibi, bir tertibat yardımıyla veya mekanizasyona geçilmesi halinde makinalar tarafından da yapılabilir.

Kalıp üretiminde kalıp boşluğu ve diğer kanallar talaşlı imalat yöntemiyle açılır. Kalıp malzemesi geçirgen olmadığından hava kanalları açılması zorunludur. Kokil kalıp tasarımı büyük deneyim ister. Kalıp cidar kalınlıkları genellikle 18...50 mm arasında seçilir. Metal kalıpların cidar kalınlığının belirlenmesinde ısı girdi ve çıktılarının dikkate alınması gerekir. Çünkü bu yöntemin başarısı kalıbın sürekli çalışma sırasındaki sıcaklığına bağlıdır ve gerektiğinde kalıp soğutulabilir. Ayrıca döküm başlangıcında metalin kalıba sorunsuz dolması için bir çok kez kalıp ön ısıtılır.

Kalıcı kalıpların malzemesi metal dışında refrakter özelliği daha iyi olan malzemeler de olabilir. Bu sayede daha yüksek döküm sıcaklıkları kullanılabilir. Buna örnek **grafit** kalıplardır. Bu kalıplar alüminyum, magnezyum gibi alaşımlardan az sayıda parça için tercih edilirler. Ancak çok çabuk aşındıklarından sadece özel uygulamalarda kullanılırlar. Döküm sıcaklığı arttıkça kalıp ömrü azalır.

Döküm sonrasında mümkünse parça tam soğuma beklenmeden hemen çıkarılır ve böylece parçanın oda sıcaklığına kadar serbestçe büzülmesi sağlanır.

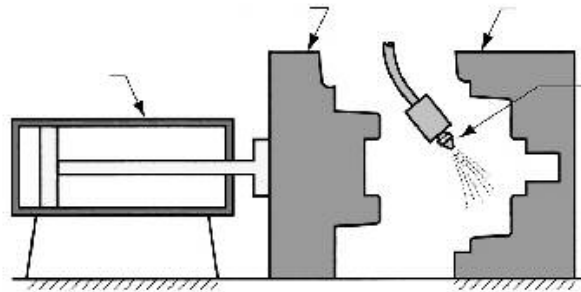
Kokil kalıba döküm yönteminin **üstünlükleri** şöyle sıralanabilir:

- İnce taneli iç yapı sayesinde mekanik özellikleri daha iyidir.
- Hassas boyut toleransları sağlanabilir.
- Parçanın yüzey kalitesi iyi olup, temizleme masrafları düşüktür.
- Seri üretim için ekonomik bir uygulamadır.

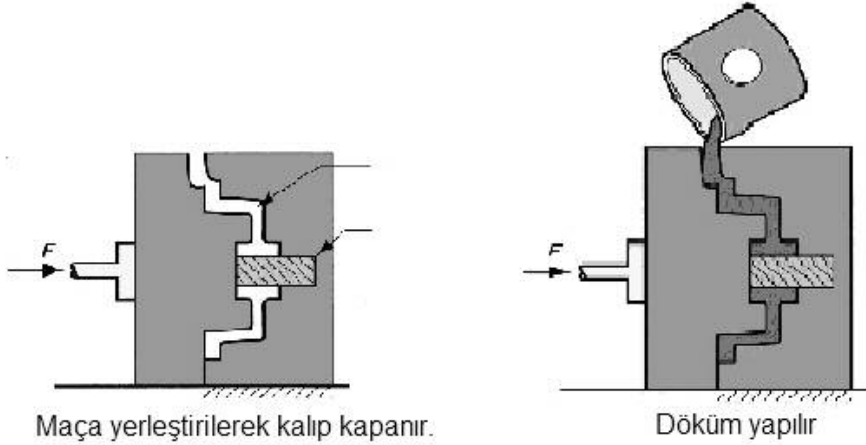
Yöntemin **sınırları** ise şunlardır:

- Kokil kalıp yatırım gerektirdiğinden ancak seri üretimde ekonomiktir.
- Bu yöntemle her malzeme dökülemez.
- Parça çıkarılırken kalıptan çıkarma güçlüğü olabilecek parçalar için kalıbın bozulduğu kum kalıp daha uygundur.
- Sadece küçük parçaların üretimi için uygundur.

Genellikle demir dışı metallerin dökümü için kullanılan kokil döküm yöntemiyle üretilen parçalara örnek olarak soğutucu kompresör gövdeleri, hidrolik fren silindirleri, biyel kolları, alüminyum daktilo parçaları ve mutfak eşyaları gösterilebilir.



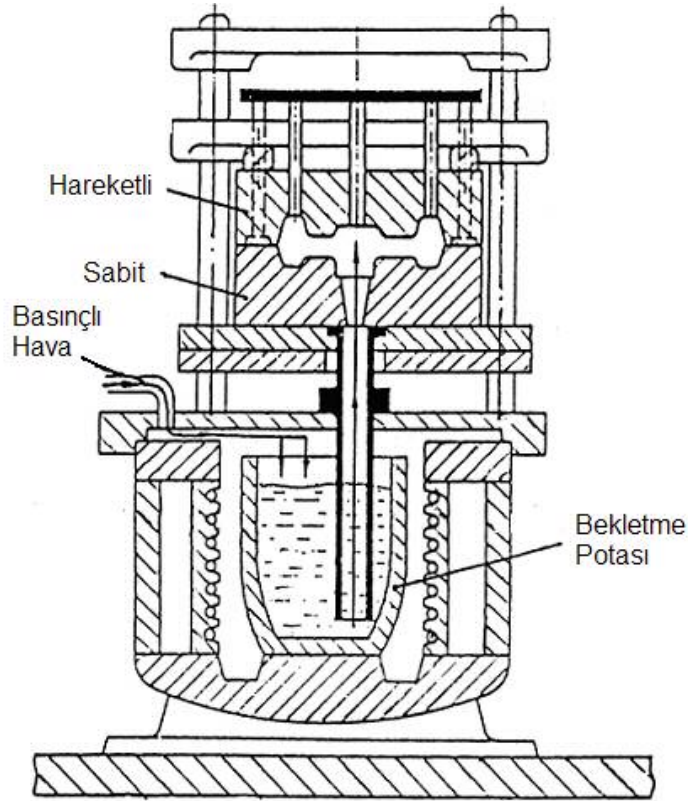
Döküm öncesi kalıp yüzeyine refrakter malzeme püskürtülür.



Maça yerleştirilerek kalıp kapanır.

Döküm yapılır

Şekil – 4.3 İki parçalı bir kokil kalıpta döküm



Şekil - 4.3 Alçak basınçlı döküm

**Alçak basınçlı döküm** : Dar kalıp boşlukları içeren kalıcı kalıplara metalin yerçekimi yardımıyla dolması güçtür. Bu durumda alçak basınçlı döküm yönteminden yararlanılır. Şekil 4.4'te bir **alçak basınçlı döküm makinası** görülmektedir. Metal alttan ve sıcaklığın kontrol edildiği bir haznedan beslenir, metal bekletme potasının ortasından basıldığından daha temiz bir döküm elde edilir.

**Vakumlu kalıcı kalıba döküm**: Bu yöntemde erimiş metalin bulunduğu bölgeye basınç uygulamak yerine, kalıp boşluğuna vakum uygulanır. Burada vakumun varlığı kalıp boşluğundaki havanın uzaklaştırılmasına ve erimiş metal içindeki gazların giderilmesine yardımcı olur.

**Boşaltma döküm**: Kokil kalıba dökümde katılaşma kalıp yüzeylerinden başlar. Kalıp yüzeyine komşu bölgelerde bir kabuki oluştuktan sonra, parçanın tam olarak katılaşması beklenmeden orta kısımlardaki sıvı metal kalıptan dışarı boşaltılırsa, içi boş döküm parçalar elde edilebilir. Kabuk kalınlığı bekleme süresi ile ayarlanabilir. Bu tür parçalarda parçanın dış yüzeyinin kalitesi iyidir, ancak parçanın mekanik dayanımı ve iç yüzeyin kalitesinin iyi olması beklenmemelidir. Bu tür uygulamalara örnek olarak, kurşun, çinko gibi metallere üretilen heykeller, oyuncaklar, lamba ayakları gösterilebilir.

## 4.2.2 Basınçlı Döküm

Bu yöntemde eriyik, metal malzemedan yapılmış bir kalıcı kalıba çok yüksek basınçlar altında doldurulur. Katılaşma tamamlanana kadar basınç uygulamaya devam edilir, daha sonra kalıp açılarak parça itici çubuklar yardımıyla çıkarılır. İşlemlerin tümü makinalar tarafından yapıldığından üretim hızı yüksektir (100...800 parça/saat). Bu yöntemle dökülen malzemeler erime sıcaklığı düşük çinko, alüminyum, bakır, kurşun ve kalay alaşımları gibi malzemelerdir.

Basınçlı döküm makinaları **sıcak ve soğuk hazneli** olmak üzere ikiye ayrılır. Çinko, kalay ve kurşun alaşımları gibi düşük sıcaklıkta eriyen metallerin dökümünde sıcak hazneli makinalar kullanılır. Pota içine daldırılmış olan hazneye (sıcak!) dolan erimiş metal, piston yardımıyla kalıp boşluğuna basılır, Şekil 4.5a. Sıcak hazneli makinaların kullanımı, çinko, kalay, kurşun gibi malzemeler ile sınırlıdır. Daha yüksek sıcaklıklarda eriyen ve bu nedenle döküm makinasının çalışan parçaları ile sürekli temasta olması sakıncalı olan alaşımlar ise (bakır, alüminyum ve magnezyum alaşımları) soğuk hazneli makinalarda dökülür. Burada erimiş metal, dökümden hemen önce kepçe ile gereken miktarda hazneye doldurulur ve bir piston yardımıyla kalıp boşluğuna basılır. Şekil 4.5b'de bu tür bir makinadaki işlem sırası şematik olarak gösterilmiştir.

Basınçlı döküm yöntemiyle üretilen parçaların çoğunda, metalin bölüm yüzeyine sızarak oluşturduğu bir döküm çapağı bulunur. Ayrıca hava çıkış ve itici çubuk kanallarına dolmuş metallerin de uzaklaştırılması gerekir. Bu çapak ve yolluklar mekanik preslerde kesilerek, taşlanarak veya başka uygun yöntemlerle uzaklaştırılır.

Kalıplar genellikle çift parçalı olup, erimiş metalin basıldığı yolluğun bulunduğu kısım döküm makinasının sabit tablasına bağlıdır. Kalıp malzemesi olarak, kalıp ve sıcak iş takım çelikleri kullanılır. Bir kalıpta aynı anda birden fazla parça dökülerek üretim hızı arttırılabilir. Parçanın kalıptan çıkarılması için itici çubuklardan yararlanır. Seri üretim sırasında kalıp sıcaklığının çok yükselmesini önlemek için çoğunlukla su ile soğutulması gerekir. Bu sayede hem kalıp ömrü artar, hem de katılaşmada içyapının ince taneli oluşumu için gerekli olan hızlı soğuma sağlanır.

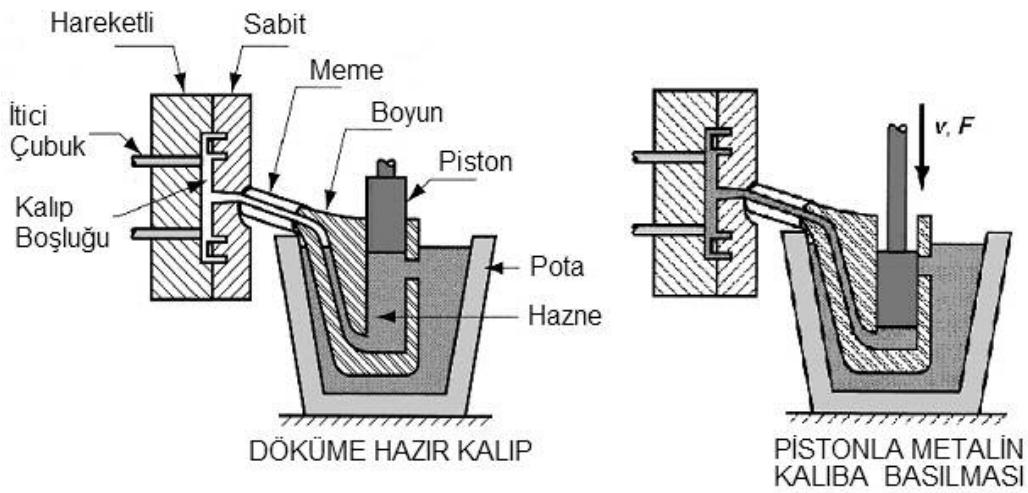
Yöntemin **üstünlükleri** şöyle özetlenebilir:

- Karmaşık biçimli küçük parçaların dökümüne uygundur,
- İnce cidarlı parçalarda kalıbın tam olarak dolması sağlanır,
- Üretim hızı yüksektir,
- Yüzey kalitesi ve boyut hassasiyeti çok yüksektir,
- Hızlı soğuma sonucu oluşan ince taneli içyapının mekanik özellikleri iyidir.

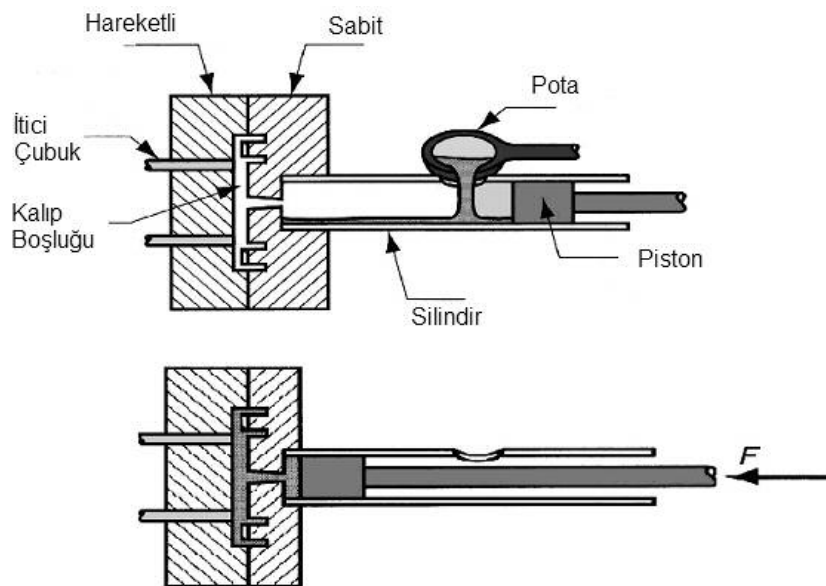
Yöntemin **sınırları** ise şunlardır:

- Sadece küçük parçaların üretimi mümkündür.
- Kalıptan çıkarılması mümkün olan parça biçimlerinde kullanılabilir.
- Kalıp tasarımı güçtür.
- Döküm makinası için yüksek bir ön yatırım gereklidir.
- Kalıp masrafı nedeniyle ancak seri üretimde ekonomiktir.
- Yüksek sıcaklıkta eriyen malzemelerin dökümü yapılamaz.

Basıncı döküm yöntemiyle üretilen parçalara örnek olarak karbüratör gövdeleri, saat parçaları, ev eşyaları ve el aletleri gösterilebilir.



Şekil - 4.5a Sıcak hazneli basınçlı döküm makinası



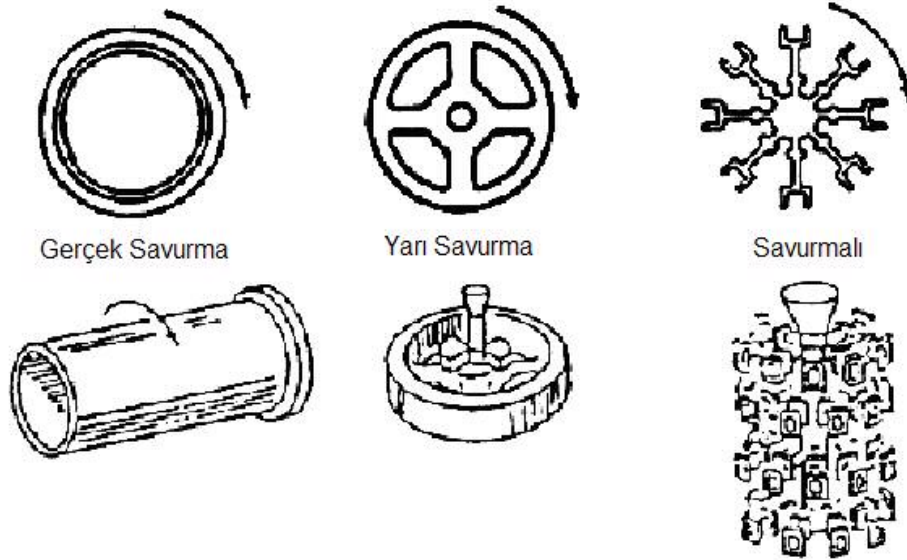
Şekil - 4.5b Soğuk hazneli basınçlı döküm makinası

### 4.2.3 Savurma (Santrfuj) Döküm

Savurma döküm yönteminde erimiş metal, bir eksen etrafında döndürülen kalıp içine dökülerek biçimlendirilir. Merkezkaç kuvvetlerinin oluşturduğu basınç, metalin kalıp cidarlarına homojen olarak dağılmasını ve parçanın kalıbın iç biçimini almasını sağlar. Ayrıca oluşan yüksek merkezkaç ivmesi sayesinde dökülen sıvı metal içinde bulunan düşük yoğunluklu kum ve cüruf tanecikleri, metal olmayan kalıntılar ve gazlar dönme eksenine doğru sürüklenirler. Bu sayede parçanın dış yüzeyinin gözeneksiz, temiz ve ince taneli olarak elde edilmesi mümkün olur.

Savurma döküm yöntemi üçe ayrılır:

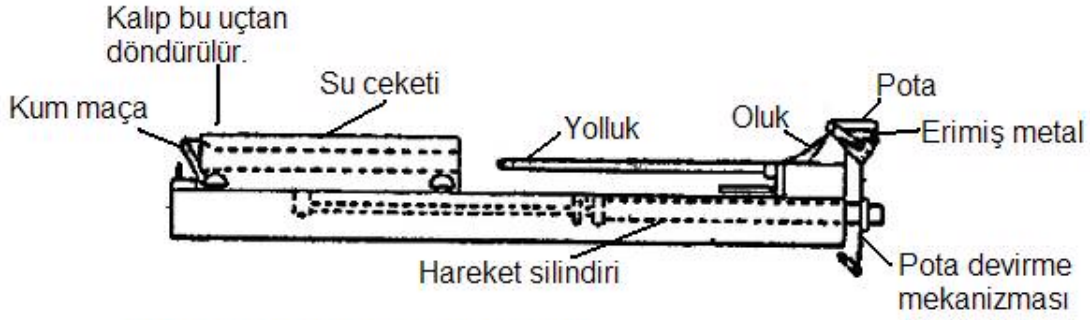
- Gerçek savurma döküm,
- Yarı savurma döküm ve
- Savurmalı döküm



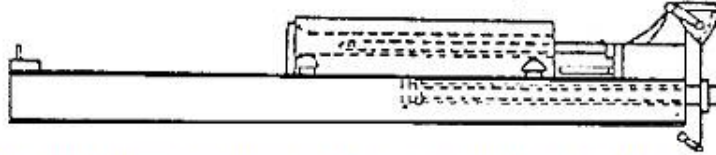
Şekil – 4.6 Savurma döküm türleri

**Gerçek savurma dökümde** iç boşlukların maça kullanmadan elde edilmesi amaçlanır. Parçanın iç kısmında dönme eksenini etrafındaki silindirik bir boşluk oluşur. Yöntemin en yaygın olarak kullanıldığı alan boru üretimidir. Parçanın cidar kalınlığı, kalıp içine dökülen eriyiğin miktarı ile ayarlanabilir. Dökülecek parça sayısı az ise kalıplar kum esaslı malzemeden yapılır. Seri üretimde ise su ile soğutulan metal kalıplar kullanılır. Şekil 4.7'de yatay eksenli bir boru döküm makinasındaki işlem sırası şematik olarak gösterilmiştir.

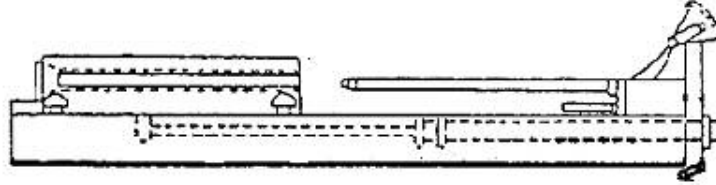




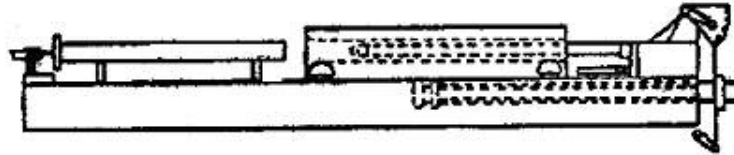
a) Kalıbın ucu kum maça ile kapatılır



b) Kalıp dökümün başlayacağı konuma getirilir ve potaya tek bir borunun üretimi için gerekli miktar sıvı metal doldurulur.



c) Kalıp potadan yavaş yavaş uzaklaştırılırken sıvı metal yolluktan doldurulur ve katlaşma tamamlanana kadar döndürmeye devam edilir.



d) Katlaşma tamamlandıktan sonra kalıp durdurulur, boru ucu bağlandıktan sonra kalıp sıyrılır.

Şekil – 4.7 : Boru üretiminde kullanılan yatay eksenli bir savurma döküm makinası

Savurma döküm makinaları, oluşan kuvvetlere karşı dayanıklı ve rijit olarak dizayn edilmelidir. Gerçek savurma döküm yönteminde dönme eksenini yatay, düşey veya açılı olabilir. Dönme hızları yer çekimi kuvvetinden çok daha yüksek merkezkaç kuvvetleri oluşacak şekilde seçilir. Dönme hızı uygun seçilerek yüksek hızlarda türbülans oluşumu, metalin saçılması ve sıcak yırtılma önlenmelidir. Yatay dönmede radyal doğrultudaki ivme 75 g (g: yerçekimi ivmesi), düşey dönmede ise 100 g değerine ulaşır.

**Yarı savurma döküm**, dönele simetriye sahip, ancak iç boşluk içermeyen tekerlek ve dişli taslakları gibi parçaların daha kaliteli dökümü için kullanılır, Şekil 4.8. Parçada iç boşluk oluşturma gereği olmadığından burada sadece merkezkaç kuvvetinin oluşturduğu radyal basınçtan yararlanır. Sıvı metal içinde düşük yoğunluklu bileşenler merkeze doğru

ötelenerek uzaklaştırıldığından, gözeneksiz ve temiz bir içyapı elde edilir. Genellikle düşey olan dönme eksenini aynı zamanda parçaların dönel simetri eksenini olduğundan, kalıplar birkaç parçanın üstüste dökülebileceği şekilde düzenlenebilir. Kalıplar yaş kum, kuru kum, metal veya diğer uygun malzemelerden yapılabilir.

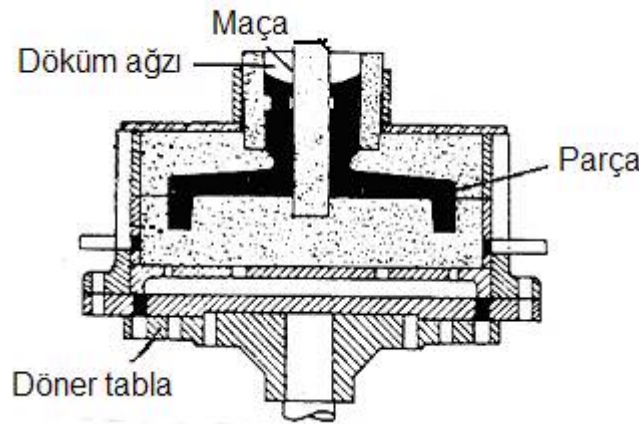
**Savurmalı. dökümün** özelliği ise, parçalara ait kalıp boşluklarının kalıp dönme ekseninin dışına yerleştirilmeleridir. Metal, aynı zamanda dönme eksenini olan bir düşey yolluktan beslenir ve yatay yolluklardan geçerek kalıp boşluklarına ulaşır. Bir kalıpta genellikle çok sayıda küçük kalıp boşluğu bulunur.

Savurma döküm yönteminin **üstünlükleri** şunlardır:

- Boru ve benzeri parçalar maçasız dökülebilir.
- Gözeneksiz ve temiz bir içyapı elde edildiğinden, bu yöntemle dökülen malzemenin mekanik özellikleri diğer yöntemlere göre daha üstündür.
- Parça toleransları dar, yüzeyleri kalitelidir.
- Yolluk sistemi olmadığından, hurdaya atılan malzeme çok azdır.
- Kalıbın ince cidarlı bölümleri kolaylıkla dolar.
- Kalıp doldurma hızı yüksek olduğundan, döküm sıcaklığı düşük seçilebilir.

Yöntemin **sınırları** ise:

- Dökülebilen parça biçimleri sınırlıdır.
- Döküm makinası yüksek bir yatırım gerektirir.
- Yoğunlukları farklı bileşenler içeren alaşımlarda segregasyon görülür.



Şekil - 4.8 Yarı savurma döküm yöntemi

Şekil 4.9: Bazı Önemli Döküm Yöntemlerini Karşılaştırılması

KALIPLAMA YÖNTEMİ	PARÇA AĞIRLIĞI (KG)	EN AZ CİDAR KALINLIĞI (MM)	YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ ( $\mu$ M)	BOYUT HASSASİYETİ MM/M	ÇEKME <sup>2)</sup> DAYANIMI MPA	ÜRETİM HIZI <sup>3)</sup> PARÇA/SAAT	GÖZE-NEK-LİLİK <sup>4)</sup>	hurda miktarı <sup>4)</sup>
Yaş Kum	0,1 - 2000	3-4	6 - 25	30 - 60	130	1 - 300	5	5
Kuru Kum	> 0,1							
Maça Kalıp	0,05 - 250							
CO <sub>2</sub> Yöntemi	0,05 - 250							
Kabuk Kalıp	0,05 - 150	1,5	1,5 - 5	2 - 5		10 - 50		
Metal Kalıp	0,25 - 150	2,5-4	4 - 18	40 - 60	160	20 - 100	4	4
Basıncılı Döküm	çok küçük - 20	0,5 - 1,5	0,5 - 3	1 - 3	205	90 - 800	1 - 2	2
Savurma Döküm	< 5000	1,5	0,5 - 8 <sup>1)</sup>	10 <sup>1)</sup>	170	30 - 50	1 - 2	1
Hassas Döküm	< 5	0,5 - 1	0,4 - 2	2 - 5		10 - 300		
1) Kalıp malzemesi metal 2) Bir alüminyum alaşımı için 3) 1,5 kg ağırlığında orta karmaşıklıkta bir parça için 4) 1:en az, 5:en çok								

## 5 ERİTME OCAKLARI

Metalin ısıtılarak eritilmesi için eritme ocaklarından yararlanılır. Döküm teknolojisinde bu amaçla değişik eritme ocaklarından yararlanılır:

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

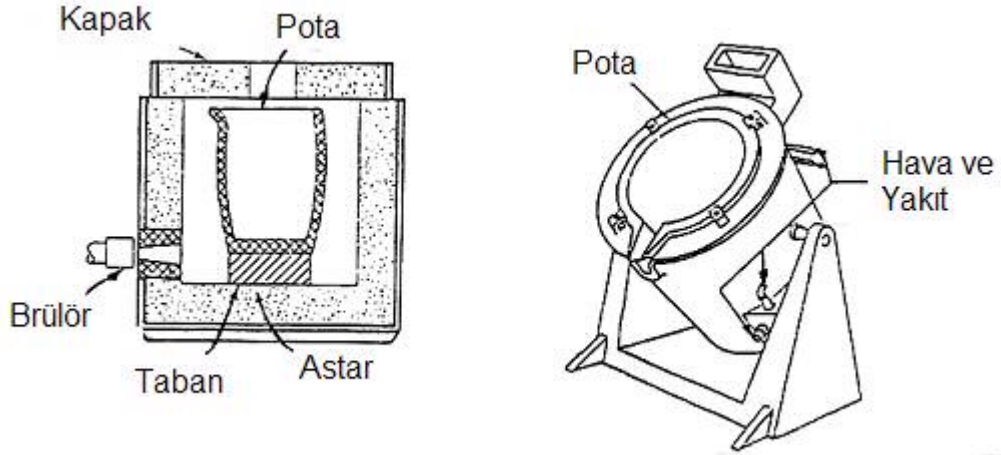
Bir dökümhane için en uygun eritme ocağının veya ocaklarının seçiminde dikkate alınması gereken baslıca kriterler şunlardır:

- Dökülecek metal veya metallerin türü ve miktarı,
- İlk yatırım ve işletme giderlerinde ekonomiklik,
- Döküm parametrelerini kontrol imkanları ve metalurjik temizlik.

### 5.1 POTALI OCAKLAR

Metal eritmede kullanılan en basit ve eski araçlar, potalı ocaklardır. Sekil 5.1'de görüldüğü gibi bu ocakların **sabit** ve **devrilebilen** tipleri vardır. Potalı ocak içi ateş tuğlası ile örülmüş bir metal kabuk ile açılıp kapanabilen bir kapaktan oluşur. Ocağın içinde metalden veya refrakter özellikli malzemelerden (grafit, silisyum, karbür, dökme demir v.s.) yapılmış bir pota bulunur/yerleştirilir. Küçük potalar genellikle atölye tabanı seviyesinin altında bulunan sabit çukur ocaklarda, büyük potalar ise taşınmaları güç olduğundan, genellikle devrilebilir tip ocaklar içinde kullanılır. Sabit ocaklarda potalar kapak açılarak çıkarıldığından, üretilen metalin türü ve miktarına uygun değişik potalar seçilerek, ocak çok amaçlı olarak kullanılabilir.

Kapasiteleri 15 kg ile 1000 kg arasında değişen potalı ocaklarda, ısı kaynağı olarak çoğunlukla katı, gaz ve sıvı yakıtlar veya elektrik enerjisinden yararlanılır. Potalı ocaklarda genellikle alüminyum ve bakır alaşımları gibi düşük sıcaklıkta eriyen demir dışı metaller eritilir.



Şekil - 5.1 Potalı ocaklar

Potalı ocaklarda en önemli bir dezavantaj, yanma gazları ve/veya ortamdaki nemden kaynaklanan buhar ile eriyen metalin temasta olmasıdır. Bu gazların (özellikle hidrojen gazının) metal içinde çözünmesini önlemek için ortamın nemden tam olarak arındırılması, fırın atmosferinin hafif oksitleyici olarak ayarlanması ve yanma gazlarının eriyikle mümkün olduğu kadar az temas etmesinin sağlanması büyük önem taşır.

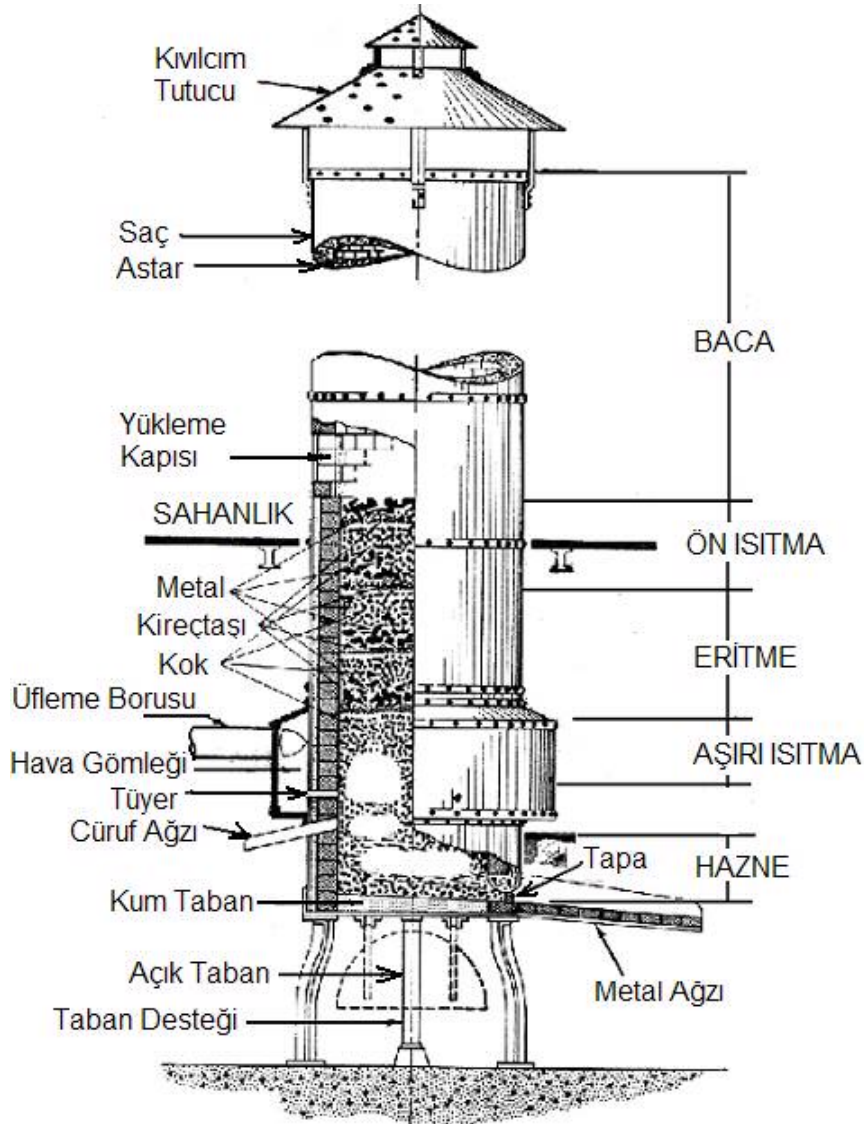
## 5.2 KUPOL OCAĞI

Kupol ocağı saçtan yapılmış ve içi refrakter tuğla ile örülerek astarlanmış, silindirik düşey bir ocaktır, Şekil 5.2. Sıvı dökme demir elde etmek için kullanılan kupol ocaklarının dış çapı genellikle 1-2 m arasındadır, kapasiteleri ise 20 ton/saat'e kadar çıkabilir.

Kupol ocağı ile çalışmaya başlamak için taban kapatılarak üzerinde bir kum tabakası dövlür. Bunun üzerine uygun kalınlıkta bir kok tabakası doldurularak ateşlenir. Ateşleme tamamlandıktan sonra yükleme kapısından ocak içine pik, hurda, kok ve kireçtaşı belli oranlarda ve birbirini izleyen tabakalar halinde üst üste yüklenir ve şarj, alttan erimiş metalin alınmasıyla kendi ağırlığı ile aşağı iner. Rejim halindeki ocakta, alttaki kok yatağına tüyerlerden üflenen havanın sağladığı yanma ile oluşan ısı, birbirini izleyen kok ve metal tabakalarından geçerek metali eritir. Eriyen metal, kok yatağından aşağı süzülerek ocak tabanında toplanır ve zaman zaman metal ağızından bir potaya alınır. Sıvı metal üzerinde biriken cüruf ise ayrı bir ağızdan alınır.

Dökme demirin eritilmesinde yaygın olarak kullanılan bu ocağın en önemli özellikleri şöyle sıralanabilir:

- **Sürekli:** Sıvı metal, ocaktan istenilen aralıklarda ve miktarlarda alınabilir. Kalıp hazırlama hızı ile metal eritme hızının birbirine uygun olarak seçilmesiyle seri üretimde süreklilik sağlanabilir.
- **Ekonomiklik:** Diğer bütün eritme ocaklarından hem ilk yatırım, hem de işletme giderleri bakımından çok daha ekonomiktir.
- **Basitlik:** Az yer tutar, kullanışı kolay, eritme süresi ise kısa olan bir ocaktır.
- **Özelliklerin Kontrolü:** Ocaktan alınan dökme demirin bileşimi ve sıcaklığı, fırın şartlarının ayarlanması ile ancak belirli sınırlar içinde kontrol edilebilir. Bileşimin ve sıcaklığın daha hassas ayarlanması ile içyapı değişimlerinin en aza indirilmesi istenirse, erimiş metal önce ikinci bir ocağa alınır, gerekli düzeltmeler burada yapıldıktan sonra döküme geçilir (Dubleks Yöntemi)



Şekil 5.2 Kupol Ocağı

### 5.3 ALEVLİ OCAKLAR

Bu tür ocaklarda alev, eritilen metal yüzeyini yalayacak şekilde uygulanır. Yakıt olarak gaz, sıvı ve pülverize kömür kullanılabilir. Genellikle dökme demirin kupol ocakta eritildikten sonra bekletilerek kimyasal bileşiminin ayarlanmasının gerektiği (örneğin temper döküm) durumlarda ve demirdışı (alüminyum ve bakır alaşımları) metallerin eritilmesinde kullanılır.

Alevli ocakların tavalı ve döner olmak üzere değişik tipleri vardır. Tavalı tip ocaklarda sığ ve uzun bir eritme bölgesi vardır; döner tip ocaklarda ise ocak eritme başlangıcında zaman zaman, metal eridikten sonra ise sürekli döndürülür.

### 5.4 ELEKTRİKLİ OCAKLAR

Döküm ocaklarında elektrik enerjisinden yararlanılması 19. yüzyılın sonlarında başlamış, elektrik enerjisinin giderek ucuzlaması ve yöntemin üstünlüklerinin anlaşılması ile yaygınlaşarak değişik ocak tipleri geliştirilmiştir. Elektrikli ocaklar **ARK** ocakları, **ENDÜKSİYON** ocakları ve **DİRENÇ** ocakları olmak üzere üç gruba ayrılır.

Elektrikli ocakların üstünlükleri aşağıdaki gibi özetlenebilir:

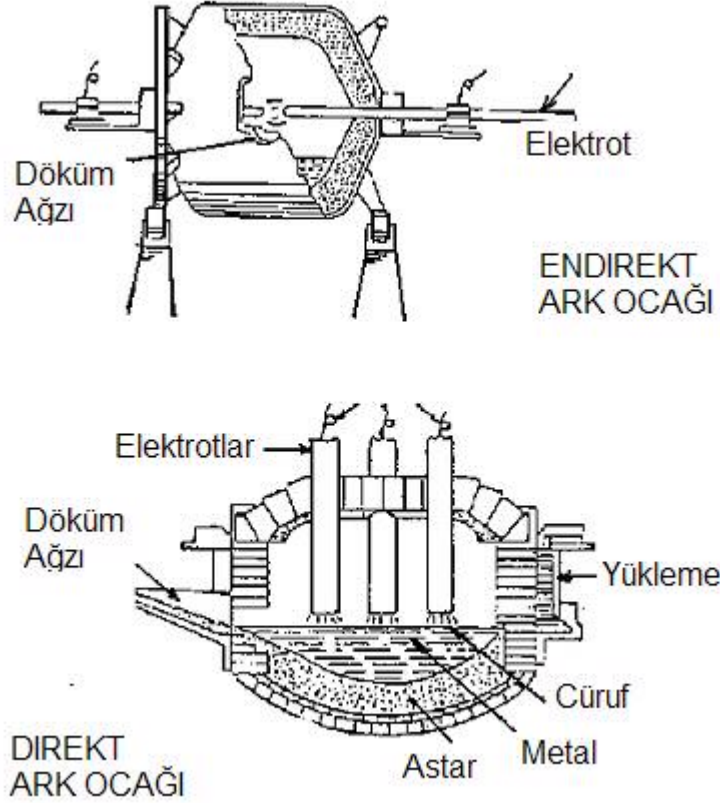
- 3000°C gibi yüksek sıcaklıklara ulaşmak mümkündür,
- Sıcaklığın kontrolü kolaydır,
- Çalışma ortamı temizdir, eritilen metalin bileşimi bozulmaz. Ayrıca arıtma ve alaşımlandırma gibi işlemler kolaylıkla gerçekleştirilebilir,
- Her türlü alaşım için değişik kapasitelerde ocaklar geliştirilmiştir.

#### 5.4.1 Ark Ocakları

Burada metalin eritilmesinde, ocak içinde oluşturulan bir elektrik arkından açığa çıkan ısıdan yararlanır. Elektrik arki, metal dışında iki elektrot arasında oluşturulursa **endirekt ark** (Şekil 5.3 a), elektrotlarla erimiş metal banyosu arasında oluşturulursa **direkt ark** ocağından (Şekil 5.3 b) söz edilir.

Direkt ark ocaklarının kullanımı daha yaygındır. Direkt ark ocağında genellikle 3 adet karbon elektrot bulunur, bu elektrotlara uygulanan gerilim düşük,

akım ise yüksektir. Bu eritme yöntemi yüksek sıcaklıkta eriyen kaliteli çeliklerin ve alaşımlı dökme demirlerin eritilmesinde tercih edilir. Direkt ark ocaklarından kapasiteleri en çok 10 - 40 ton olanlar kullanılır. Eritme kapasiteleri çok daha düşük olan (en çok 1 ton) endirekt ark ocakları ise genellikle demir dışı metallerin eritilmesinde kullanılırlar.



Şekil - 5.3. Ark ocakları

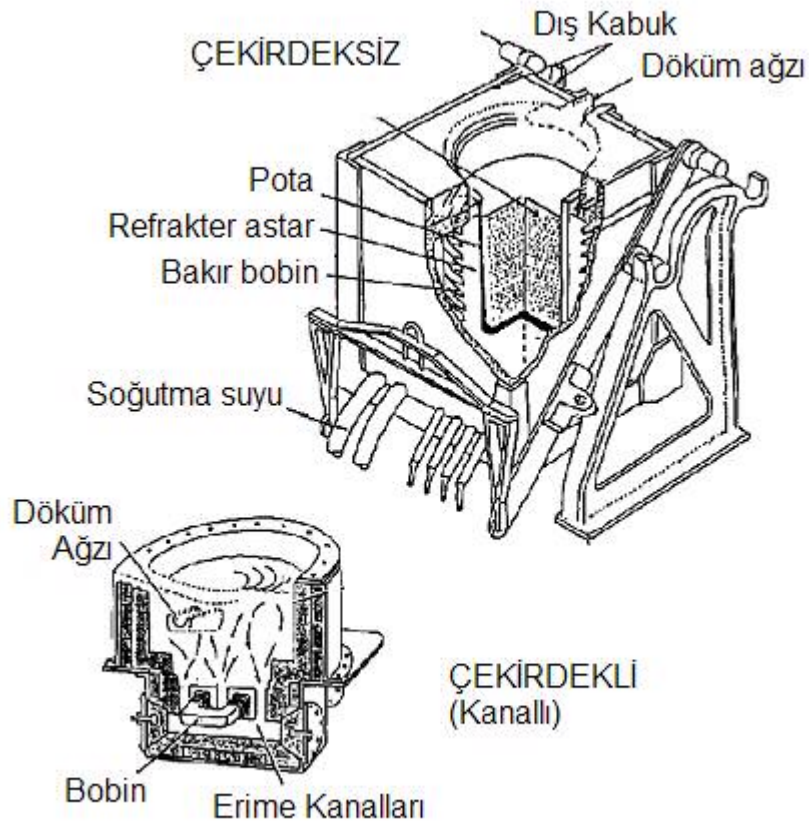
#### 5.4.2 Endüksiyon Ocakları:

Endüksiyon ocakları, çekirdeksiz ve çekirdekli (kanallı) olmak üzere iki gruba ayrılırlar. Her iki ocağın da metali normal bir transformatörün birincil sargısı olarak düşünülebilecek elektrik bobini çevreler. Bu bobinden geçen alternatif akım, ikincil sargı olarak düşünülebilecek iletken metal içinde girdap akımları endükleyerek ısının açığa çıkmasına neden olur. Isı, doğrudan doğruya eritilecek metal içinde ortaya çıktığından, çok temiz ve hızlı bir eritme gerçekleşir. Hat frekansından (50 Hz) yüksek frekanslara (10000 Hz) kadar değişik elektrik kaynaklarıyla çalışan endüksiyon ocakları mevcuttur. Erimiş metalde oluşan akımlar, metal banyosunda bir karışma hareketi de sağlar. Bu ocaklar çelik, dökme demir, alüminyum alaşımları gibi değişik metallerin eritilmesinde kullanılabilir.

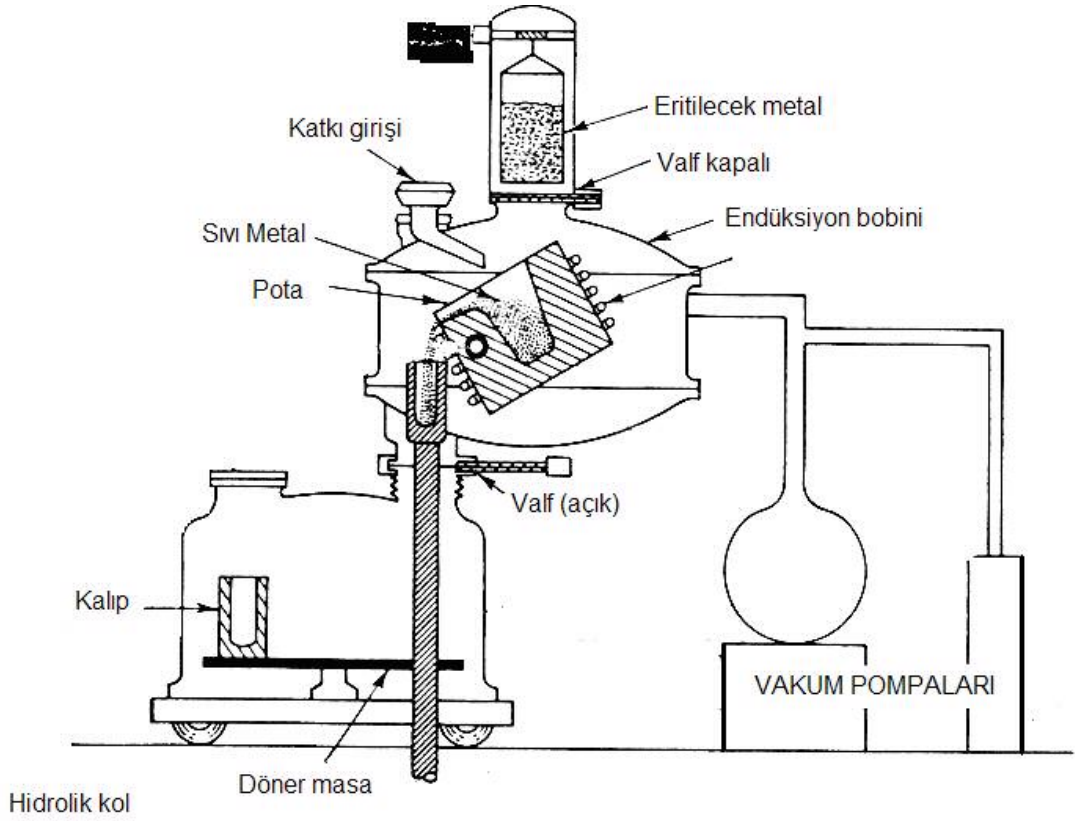


**Çekirdeksiz tip** endüksiyon ocağında potanın etrafı su ile soğutulan bakır borudan yapılmış bir bobin ile çevrilidir, Şekil 5.4a. **Çekirdekli veya kanallı tipte** ise sıvı metal, primer sargının çekirdeği çevresinde bir kanal oluşturur (Şekil 5.4 b). Genellikle hat frekansında çalışan bu ocakların güçleri daha düşük, elektriksel verimleri ise daha yüksektir. Kanallı endüksiyon ocaklarında çalışmaya ilk baslarken kanalı dolduracak kadar bir sıvı metalin doldurulması gerekir. Bu tip ocaklar genellikle eritme için değil, bekletme ve aşırı ısıtma gibi işlerde tercih edilirler (örneğin dubleks çalışmada).

Endüksiyon ocaklarının bir diğer türü de, eritmenin vakum altında yapıldığı **vakum endüksiyon** ocaklarıdır, Şekil 5.5. Bu ocaklarda metal eriyiklerinin, atmosfer ile teması önlenir.



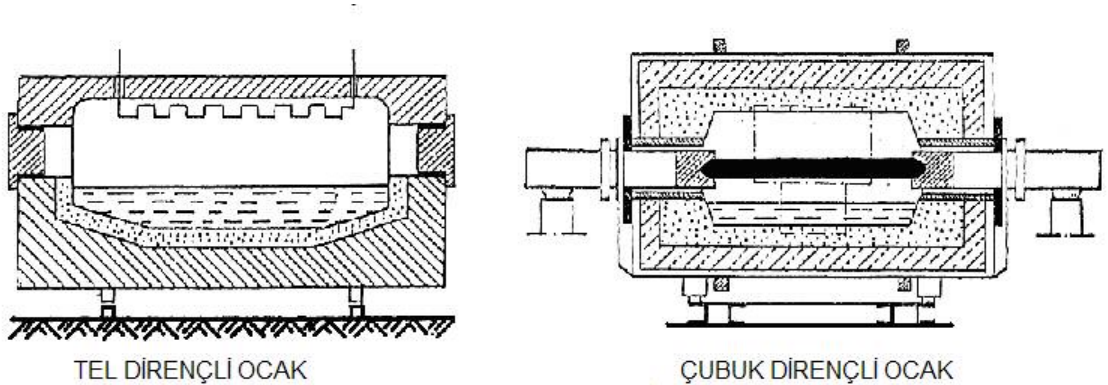
Şekil – 5.4. Endüksiyon ocakları



Şekil - 5.5. Vakum endüksiyon ocağı

### 5.4.3 Direnç Ocakları

Bu ocaklarda elektrik akımının bir direnç üzerinden geçmesi sırasında oluşan ısıdan yararlanılır. Direnç ocaklarının uygulama alanları sınırlı olup, genellikle erime sıcaklığı düşük malzemeler için tercih edilirler. Direnç olarak tel veya içinden yüksek akım geçirilen grafit ve silisyum karbür çubuklar kullanılabilir, Şekil 5.6.



Şekil - 5.6. Direnç ocakları

## 6 BİTİRME İŞLEMLERİ

Sıvı metalin kalıp içinde katılaşmasının tamamlanmasından sonra uygulanan üretim kademeleri bitirme işlemleri olarak adlandırılır. Bunların başlıcaları: Kalıbı soğutarak ve bozarak parçayı çıkarma, yolluk ve çıkıcıların ayrılması, temizleme, çapak kesme, onarım, ısıl işlemler ve son yüzey işlemleridir. Bütün bu işlemler, parça maliyetine etkisi büyük olan ve dökümhaneler de ek yatırımlar yapılmasını gerekli kılan önemli üretim kademeleridir.

### 6.1 KALIP BOZMA

Kalıp içinde katılaşması biten parçanın, belirli bir sıcaklığa kadar kalıp içinde soğuması gereklidir. Kalıbın türü, parçanın biçimi ve döküm malzemesine bağlı olan bu sıcaklık, aşağıdaki **kriterler** dikkate alınarak belirlenir:

- Kalıp bozulduğunda, parça katılaşmış ve biçimini koruyabilir bir dayanıma sahip olmalıdır.
- Parçanın kalıptan çıkarılacağı sıcaklığın seçiminde, malzemenin faz diyagramı ile belirli olan içyapı değişimleri de dikkate alınmalıdır.
- Kalıbın bozulmasından sonra oluşacak hızlı soğumanın çarpılma ve iç gerilmelere neden olabileceği düşünülmelidir.
- Kalıp içinde katılaşması tamamlanmış parçanın serbestçe büzülebilmesi için kalıp mümkün olduğunca erken bozulmalıdır.

Kalıp bozmada kullanılan **yöntemlerin** başlıcaları şunlardır:

- Döküm yerinde elle bozma
- Sarsma ızgaraları üzerinde bozma
- Parçayı dereceden presleyerek çıkarma
- Parçacık veya basınçlı su püskürtme

Bu yöntemler yardımıyla kalıptan çıkarılan parçaların, iç boşluklarında kalan maça parçalarının tam olarak temizlenebilmesi için de bazı **ek işlemler** gerekebilir: Elle veya sarsma yöntemiyle temizleme, basınçlı su püskürtme, ısıl veya kimyasal işlemler.

## 6.2 YOLLUK VE ÇIKICILARIN AYRILMASI

Yolluk ve çıkıcıların ayrılması için en uygun ve ekonomik yöntem, döküm malzemesinin türü ve kesit kalınlıklarına göre belirlenir. Gevrek malzemelerde yolluk sisteminin ana parça ile birleştiği kesitler genellikle dar ve çentikli olarak biçimlendirilerek, bunların kalıp bozma sırasında **darbelerle** kırılarak ayrılması sağlanır. Özellikle kır veya beyaz dökme demir gibi gevrek malzemeler için uygun olan kırma yönteminde, parçaya hasar vermemek için kırılmanın oluşması istenen bölgelerde çentikler bırakılır ve kırık yüzeyi daha sonra taşlanarak temizlenir.

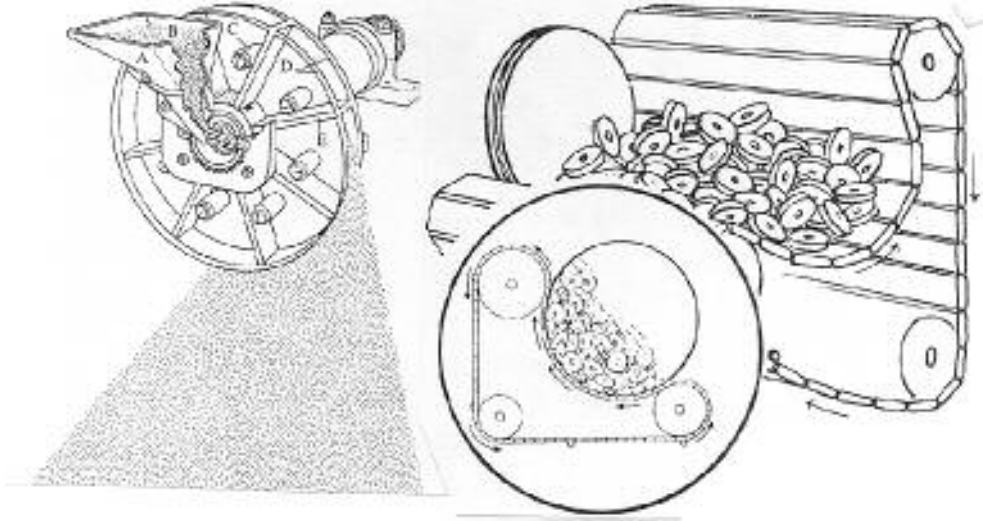
Kırma yoluyla ayrılması mümkün olmayan yolluk ve çıkıcılar şerit testere, disk testere, özel makaslar gibi değişik **talaş kaldırma** yöntemleriyle uzaklaştırılır. Büyük döküm parçaların yolluk ve çıkıcılarının uzaklaştırılmasında ise en uygun yöntem üflele kesmedir. Dökme demir gibi malzemelerde, alevle kesmede güçlükle karşılaşılabılır. Burada üflenen aleve örneğin demir tozu verilerek, hem açığa çıkan yanma ısısından, hem de demir oksit parçacıklarının aşındırmasından yararlanılarak kesme yapılır.

Bu yöntemlerin dışında yolluk ve çıkıcıların ayrılması için elektrokimyasal, lazer ışınları, yüksek basınçlı sıvı jetleri gibi değişik teknikler de kullanılabilir.

## 6.3 YÜZEY TEMİZLEME

Temizleme işlemleri, çoğu zaman mekanize edilemediğinden masraflı bir üretim kademesidir. Dolayısıyla parçanın tasarımında döküm sonrası nasıl temizleneceği düşünülmelidir.

Özellikle büyük parçalarda yüzeylerin kum ve tufaldan arındırılmasında, kum veya metal parçacıklarının basınçlı hava yardımıyla veya mekanik olarak (Şekil 6.1) parça yüzeyine **püskürtülmesi** en uygun yöntemdir. Basınçlı hava ile parçacık püskürterek temizleme, özel kabin veya odalarda yapılır. Hava yerine su kullanarak toz sorunu ortadan kaldırılabilir. Püskürtülen tanelerin tüm parçanın yüzeyini taraması için küçük parçalarda bir tambur, büyüklerde ise bir döndürme tertibatından yararlanılabilir. Özellikle yüzeyi kolay ezilen demir dışı metallerde püskürtme süresinin aşırı uzun seçilmemesi çok önemlidir.



Şekil - 6.1. Parça temizlemede kullanılan mekanik bilya savurucu ve tambur

Küçük parçalarda yüzeye yapışmış kum taneleri, tufal ile kısmen çapak ve teller **tamburlar** içinde temizlenebilir (Şekil 6.1). Gerektiğinde tambura parçalarla birlikte aşındırıcı da doldurulabilir. Tamburlama sırasında parçaları köşeleri de yuvarlatılacağından, aşırı tamburlama sakıncalıdır. Toz oluşumunu önlemek için yağ tamburlar da kullanılabilir.

Yüzey temizleme amacıyla yararlanılan diğer yöntemler; sarsarak temizleme, telle fırçalama, asitle temizleme ve su püskürtme gibi tekniklerdir. Yolluk ve çıkıcıların giderilmesinde talaşlı veya ısıl kesme işlemleri kullanılacak ise, temizleme işleminin kesmeden önce yapılması uygun olur.

#### 6.4 ÇAPAK KESME

Çapak kesme işlemi, yüzey temizlemeden önce veya sonra yapılarak, parçanın son biçimine ait olmayan yolluk ve çıkıcıların kırılma yüzeyleri, maça destekleri, teller, bölüm yüzeyi çapakları gibi kısımlar uzaklaştırılır. Bu amaçla keski ile ayırma, taşlama, eğeleme, frezeleme gibi yöntemler kullanılabilirdiği gibi, çapaklar kalıpta pres altında da kesilebilir.

#### 6.5 ISIL İŞLEM

Dökülen parçalara bir ısıl işlem uygulanması düşünülmüş ise, bu işlem genellikle çapak kesmeden sonra yapılır. Döküm parçalara uygulanan ısıl işlemlere örnek olarak: temper dökme demir ile küresel grafitli dökme demirde uygulanan grafitleme, dökme çeliklerin normalizasyonu ve/veya ıslahı, demir dışı metallerde yapılan yaşlandırma ısıl işlemleri gösterilebilir.

## 6.6 SON YÜZEY İŞLEMLERİ

Parçaya uygulanan son işlemler; talaşlı işlemlerin son pasoları, kimyasal yüzey işlemleri, kaplama, parlatma, boyama gibi uygulamalar olabilir.

## 6.7. ONARIM

Döküm yöntemiyle üretilmiş parçalarda görülen hataların bazılarının onarılması ve parçanın hurdaya ayrılmasının önlenmesi mümkün olabilir. Ancak bu onarımların parçanın kullanım özelliklerini olumsuz etkilememesi ve parçayı kullanacaklara bilgi verilmesi esastır. Aşağıda bazı onarım örnekleri verilmiştir:

### **Eksik Döküm:**

Kalıbın tam dolmamış bölgelerinin onarımı için genellikle iki seçenek vardır:

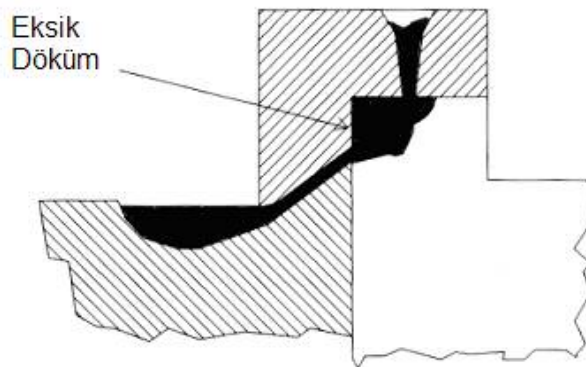
- **Kaynak** yöntemiyle doldurma (oksi-asetilen veya elektrik ark kaynağı yöntemleri kullanılabilir).
- **Döküm** yöntemiyle onarım (bir onarım kalıbı hazırlanarak, sıvı metal, onarılacak bölgedeki parça yüzeyi eriyene kadar akıtılır ve daha sonra kalıbın alt çıkışı kapatılarak katılaşma beklenir, Şekil 6.2).

### **Mikrogözeneklilik:**

Değişik çözeltiler ve karışımlar içinde tutularak gözeneklerini doldurulan parçalarda, sızdırmazlık sağlanır.

### **Yüzey Hataları:**

Yüzey hatalarının onarımı için kullanılan değişik dolgu karışımları vardır. Bu tür bir onarım, yük taşıyan bölgeler için değil, sadece dış görünümü iyileştirmek için kullanılmalıdır. Çok büyük boşluklarda ise parça koyarak onarım yapılabilir.



Şekil – 6.2. Bir onarım kalıbı

## 7 DÖKÜM KUSURLARI ve KALİTE KONTROL

Kalite, en kısa şekilde ürün özelliklerinin kullanım amacına uygunluğu olarak tanımlanabilir. Ürün özelliklerinin saptanması, sürekliliğinin sağlanması ve hatalı parçaların ayrılması için her üretim yerinde olduğu gibi dökümhanelerde de kalite kontrol uygulamaları yapılır. Bu uygulamalar üç ana başlık altında toplanabilir:

- **Girdi Kontrolleri:** Döküm metalleri ile modeller, kalıp ve maça malzemelerinin kontrolü.
- **Üretim Kontrolleri:** Kalıp ve maça malzemelerinin hazırlanması, kalıplama, maça üretimi, kalıp kapama, metal eritme, dökme ve bitirme işlemlerinin kontrolü.
- **Bitmiş Parça Kontrolleri:** Parçada yapı sürekliliğinin kontrolü (boşluk, çatlak, segregasyon), biçim ve boyut kontrolü, malzemenin kimyasal ve fiziksel özelliklerinin kontrolü.

Girdi ve üretim kontrolleri her döküm yöntemi için farklı olup, kullanılan malzemeler ve uygulanan üretim kademelerine göre düzenlenir. Bu nedenle bu bölümde sadece bitmiş parça kontrolleri üzerinde durulacaktır.

### 7.1. DÖKÜM PARÇA KONTROLU

Bu kontroller üç gruba ayrılabilir:

- **Yapı Süreksizliklerinin Kontrolü**

Parça özelliklerini çok olumsuz etkileyen bu süreksizliklere örnek olarak çekme boşlukları, çatlaklar, pislik ve segregasyonlar gösterilebilir. Bu hatalar, değişik tahribatsız kontrol yöntemleriyle saptanabilir:

**Gözle Kontrol:** Büyük çatlaklar, pislik, eksik döküm, gaz boşlukları, penetrasyonlar, kaymalar, kalıp şişmesi gibi birçok kusur gözle saptanabilir.

**Vurarak Kontrol:** Parçaya bir darbe uygulanarak, çıkan ses sağlam bir parçanın sesi ile karşılaştırılır.

**İleri Tahribatsız Muayeneler:** Gözle görülmeyen yüzey hataları için penetrasyon sıvı, manyetik toz, makro dağlama, ultrasonik gibi yöntemler kullanılır. İç süreksizliklerin saptanması için ise radyografik (röntgen ve gamma) ve ultrasonik yöntemlerden yararlanır.

- **Boyut ve Biçim Kontrolü**

Metal dökümünde geçerli olan toleranslar, kullanılan kalıp ve dökülen malzeme türüne bağlı olarak değişik standartlarla belirlenmiştir. Özel isteklerin ayrıca belirtilmesi gereklidir.

- **Kimyasal ve Fiziksel Özelliklerin Saptanması**

**Kimyasal Bileşim:** Potadaki sıvı metalden veya dökülmüş parçadan alınan örnekler üzerinde yapılan analizlerle saptanır.

**Mekanik özellikler:** Döküm parça üzerinden çıkarılan veya parça ile beraber dökülen örnekler üzerinde yapılan çekme, basma, eğme, sertlik, çentik darbe v.b. deneyler ile saptanır. Numunenin alındığı bölge veya parçayla birlikte dökülen numune, döküm parçayı temsil edecek şekilde (kalınlık ve soğuma hızı bakımından) olmalıdır. Bazı durumlarda numuneler, potadaki sıvı metalin ayrı bir kalıba dökülmesiyle elde edilir.

**Yoğunluk:** Döküm parçalarda yoğunluğun saptanması ile parça içindeki boşluklar ve malzemenin kimyasal bileşimi hakkında ipuçları elde edilebilir.

## 7.2 DÖKÜM PARÇA KUSURLARI

Her üretimde olduğu gibi dökümde de hatalı parçaların ortaya çıkması kaçınılmazdır. Hata oranı, parça boyut ve biçimi, malzeme ile döküm uygulamalarına bağlı olarak % 30'a kadar çıkabilir. Üretimin değişik aşamalarından kaynaklanabilen döküm hataları, değişik nedenlerle ortaya çıkabilir:

- Hatalı parça tasarımı
- Hatalı model tasarımı ve üretimi
- Hatalı kalıp tasarımı, yanlış kalıp malzemeleri ve kalıplama işlemi
- Hatalı döküm işlemi
- Yanlış malzeme seçimi
- Bitirme işlemleri hataları

Döküm yöntemiyle üretilmiş parçalarda rastlanan başlıca **kusurlar ve nedenleri** aşağıda özetlenmiştir:

**Eksik Döküm:** Dökülen sıvı metalin kalıbı tam doldurmaması sonucu oluşur. Döküm sıcaklığının düşük olması, metalin akıcılığının yetersizliği, kalıbın gaz geçirgenliğinin yetersizliği, kalıp doldurma hızının yavaş olması, parça kesitlerinin kullanılan kalıp türü ve malzeme için çok dar olması başlıca nedenlerdir.



**Soğuk Birleşme:** Kalıp içinde önceden katılmış bölgelerin daha sonra gelen sıvı metal cephesi ile birleştiği ve aradaki oksit tabakası nedeniyle kaynamanın tam olmadığı bölgelerde görülür. Bu hatanın nedenleri arasında metalin dökümündeki kesiklikler, malzeme akıcılığının düşük olması, yolluk sisteminin yetersizliği nedeniyle besleme hızının yavaş olması, döküm sıcaklığının düşük ve cidar kalınlıklarının ince olması sayılabilir.

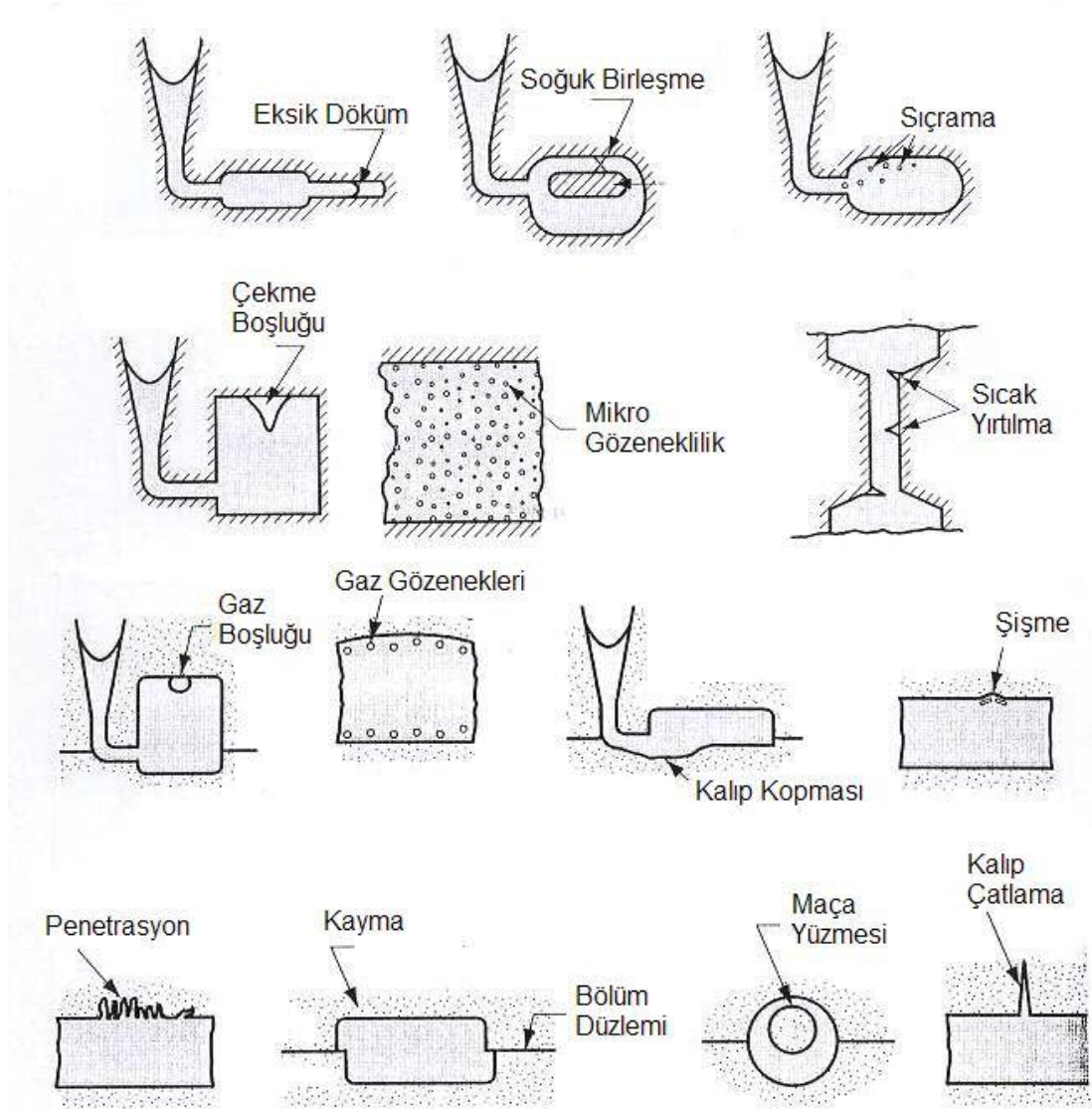
**Sıçramalar:** Döküm sırasında sıçrayarak kalıp cidarlarında katılan ve daha sonra kalıba dolan sıvı metalle soğuk olarak birleşen metal parçacıklarıdır. Yolluk sisteminin daha uygun olarak tasarımı ve kalıbın daha dikkatli doldurulması ile giderilebilir.

**Çekme Boşlukları:** Katılma sırasında, sıvı metal ile beslenemeyen kalın kesitlerde oluşan ve genellikle cidarları pürüzlü olan boşluklardır. İç ve dış çekme boşlukları genellikle kalıp ve parça tasarımındaki hatalardan ve yeterli beslemenin yapılamayışından kaynaklanır. Ayrıca alaşımların dendritik katılması sırasında, bu tür çekme boşlukları mikro gözenekliğe neden olabilir.

**Sıcak Yırtılmalar, Çatlaklar ve Çarpılmalar:** Katılması tamamlanmış, ancak hala sıcak olması nedeniyle yeterli dayanıma sahip olmayan döküm parçalar, kalıp içinde soğurlarken büzülme serbestçe gerçekleşemez, yani iç gerilmeler ortaya çıkar ise, kritik kesitlerde sıcak yırtılmalar oluşur. Yırtılma yüzeyi pürüzlü ve oksitlenmiş bir görünümdedir. Bu iç gerilmeler, daha düşük sıcaklıklarda soğuk çatlaklara veya çarpılmalara da neden olabilirler. Çarpılmaların bir diğer nedeni de, değişik kalınlıklardaki kesitlerin soğuma hızları arasındaki farklılıklardır.

**Gaz Boşlukları:** Kalıp boşluğunda varolan veya sıvı metal içinde çözünmüş gazların metali ve kalıbı terk edememesi sonucu parça içinde veya yüzeyinde oluşur. Bazı durumlarda bu kusur parça yüzeyinin hemen altında gözeneklilik olarak ortaya çıkar. Çekme boşluklarından farkı, cidarlarının düzgün oluşudur. Metal içinde çözünmüş gaz miktarının yüksek ve kalıbın gaz geçirgenliğinin düşük olması bu hatanın başlıca nedenleridir.

Bu kusurun bir başka nedeni de kalıp içinde nem bulunması ve buhar haline geçen nemin kalıp geçirgenliği yeterli olmadığı için parçada boşluklara neden olmasıdır. Bu olaya, özellikle geçirgenliği düşük yaş kum kalıplarda sıkça rastlanır.



Şekil 7.1: Değişik Döküm Kusurları

**Kalıp Yüzeyinde Kopmalar:** Kalıbın doldurulması sırasında kalıp boşluğu yüzeyindeki erozyon sonrası ortaya çıkan kusurlardır

**Şişme:** Kalıp dayanımının yetersiz olduğu bölgelerde sıvı, metalin basıncının etkisiyle kalıpta yerel biçim değişiklikleri oluşur. Kum esaslı kalıplarda sıkıştırmanın yetersiz olduğu durumlarda sıkça görülür.

**Metal Penetrasyonu:** Sıvı metalin kum tanecikleri arasına sızması nedeniyle pürüzlü bir yüzey ortaya çıkar. Bunu önlemek için ince kum kullanılmalı, kalıp daha fazla sıkıştırılmalı ve kalıp kaplama yapılmalıdır.

**Kayma:** Kalıplama sırasında model parçalarının veya kalıp kapama sırasında kalıp parçalarının konumlarından kayması ile ortaya çıkan biçim değişiklikleridir.

**Maça Yüzmesi:** İyi desteklenmemiş maçaların, sıvı metalin kaldırma veya sürüklenme kuvvetleri ile yerinden oynaması sonucu ortaya çıkan biçim değişiklikleridir.

**Kalıp Genleşmesi:** Döküm sırasında kalıp kumu taneciklerinin genleşmesi ve oluşan basma gerilmeleri sonucu kalıp yüzeyinde çatlama ve dökümler ortaya çıkabilir. Bu kusuru gidermek için, kum esaslı kalıp malzemesinin genleşme özelliklerinin uygun olması çok önemlidir.

**Kum Taneciklerinin Yüzeğe Kaynaması:** Döküm sıcaklığının çok yüksek seçilmesi veya kumun refrakterliğinin yeterli olmaması durumunda kum tanecikleri parçanın yüzeyine kaynar ve parça yüzeyi camsı bir görünüm alır.

**Çapak:** Bölüm yüzeyine sıvı metalin sızması sonucu oluşur.

**Segregasyon:** Parça içinde, malzemenin yerel kimyasal bileşim farklılıklarının oluşmasıdır (mikrosegregasyon, ağırlık segregasyonu gibi). Buna katılma aralığının geniş, döküm sıcaklığının aşırı yüksek veya soğuma hızının yavaş olduğu durumlarda rastlanabilir. Hata, homojenleştirme tavi ile giderilebilir, ancak parçanın çok yüksek sıcaklıklarda uzun süreler tutulduğu bu ısıl işlem, ek harcamalar gerektirir; ayrıca tane büyümesi ve çarpılma gibi tehlikeler söz konusudur.

**Pislikler:** Cüruf, oksit, kum parçacıkları gibi yabancı maddelerin sıvı metale karışmasıyla, genellikle parça yüzeyinde gözle görülebilir kusurlar ortaya çıkar. Genellikle dökülen metalden daha düşük yoğunluklu olan bu pislikler, sıvı metal içinde yükselerek, parçanın üst yüzeyinde toplanırlar. Potanın kirli olması, döküm sırasında gerekli özenin gösterilmemesi, kalıp boşluğunda bağlanmamış kum bulunması, yolluk sisteminin yanlış tasarımı, gevşek kalıplama gibi çok değişik nedenlerle oluşabilir.

## 8 DÖKÜM PARÇA TASARIMI

Tasarımlarda amaç, belirli özelliklere sahip olması gereken bir parçanın en ekonomik yöntemle üretilmesini sağlamaktır. Bir makina parçasının imalatı için genellikle birden fazla yöntem arasından en uygununun seçimi söz konusudur. Bu yöntemler arasında döküm yöntemi en ekonomik olanların başında gelir. Döküm teknolojisinin giderek geliştirilmesi ve her geçen gün daha yüksek kaliteli ürünlerin elde edilebilmesi sayesinde, imalat için bu yöntemin tercihi yaygınlaşmaktadır.

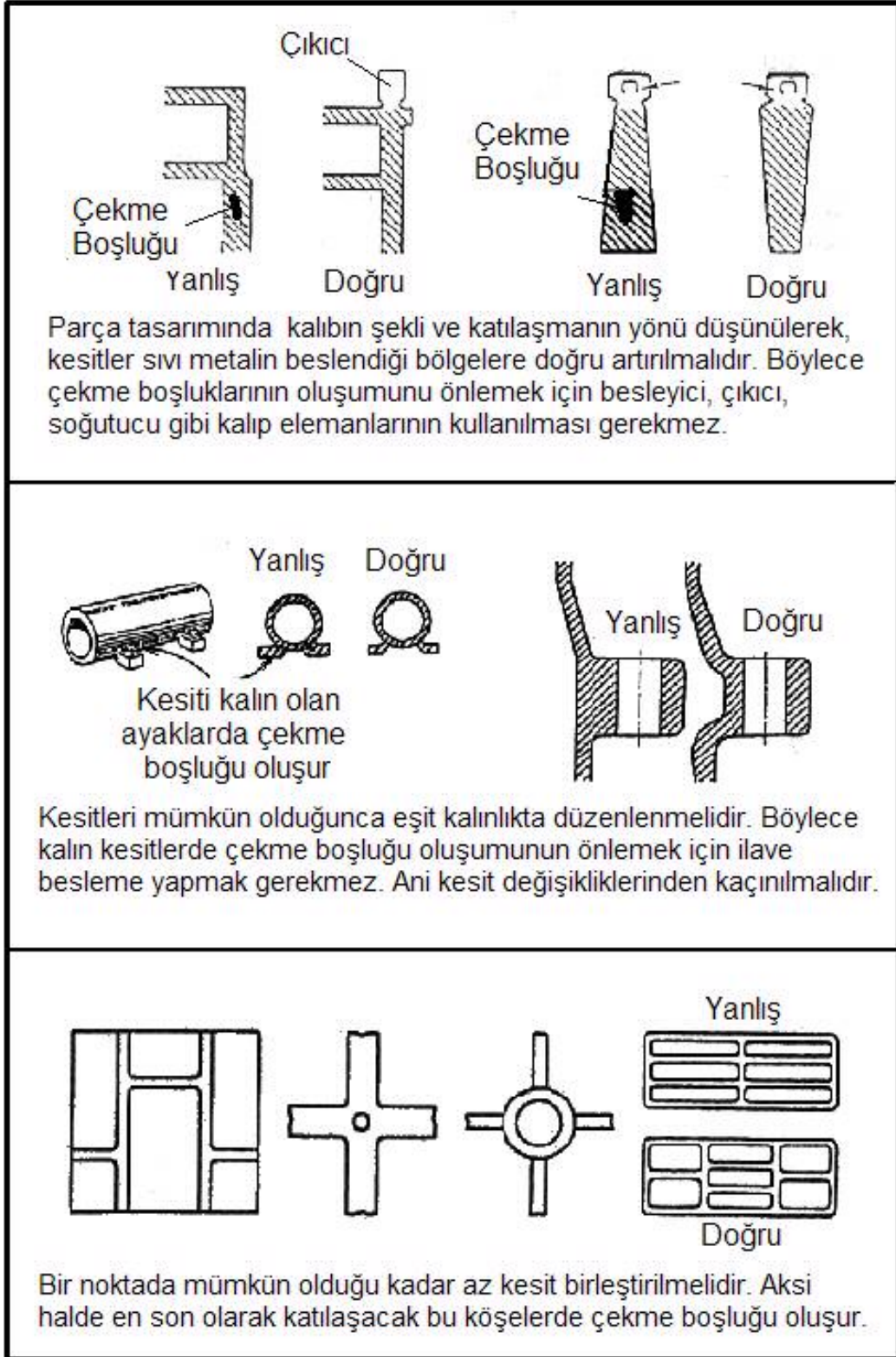
Döküm parçaların imalatındaki başarı, hem tasarımcının, hem de dökümcünün becerisine bağlıdır. Tasarımcı, parçaya kullanım sırasında etkiyecek zorlamaları ve gerekli emniyet katsayısını belirlemekle, dökümcü ise bu zorlamayı taşıması öngörülen parçayı kusursuz üretmekle yükümlüdür. Ancak tasarımcı parçayı biçimlendirirken işlevselliğin yanında imal edilebilirliği de düşünmek zorundadır. Bazı durumlarda tasarımcının parçadan beklediği işlevin yerine getirilebilmesi için çok fazla alternatif yoktur. Böyle hallerde parçanın biçimi döküm yöntemi açısından kolay ve ekonomik üretilir olmasa dahi, dökümcü söz konusu biçimi üretebilmek için her türlü olanağı kullanmak zorundadır. Ancak parça tasarımlarında genellikle birden fazla seçenek vardır, bu nedenle tasarımda teknik ve ekonomik bakımdan döküm yöntemine uygunluğun dikkate alınarak bazı düzeltmelerin yapılması söz konusu olabilir. Bu nedenle imalatçının, parça tasarımcısıyla diyalog içine girmesi ve hatta mümkünse tasarımın başından itibaren tasarım sürecinin içinde bulunması yararlı olacaktır.

Döküm parçaların tasarımında dikkat edilmesi gereken kuralların en önemlileri, aşağıda çizelgeler halinde ve örnekler yardımıyla açıklanmıştır.

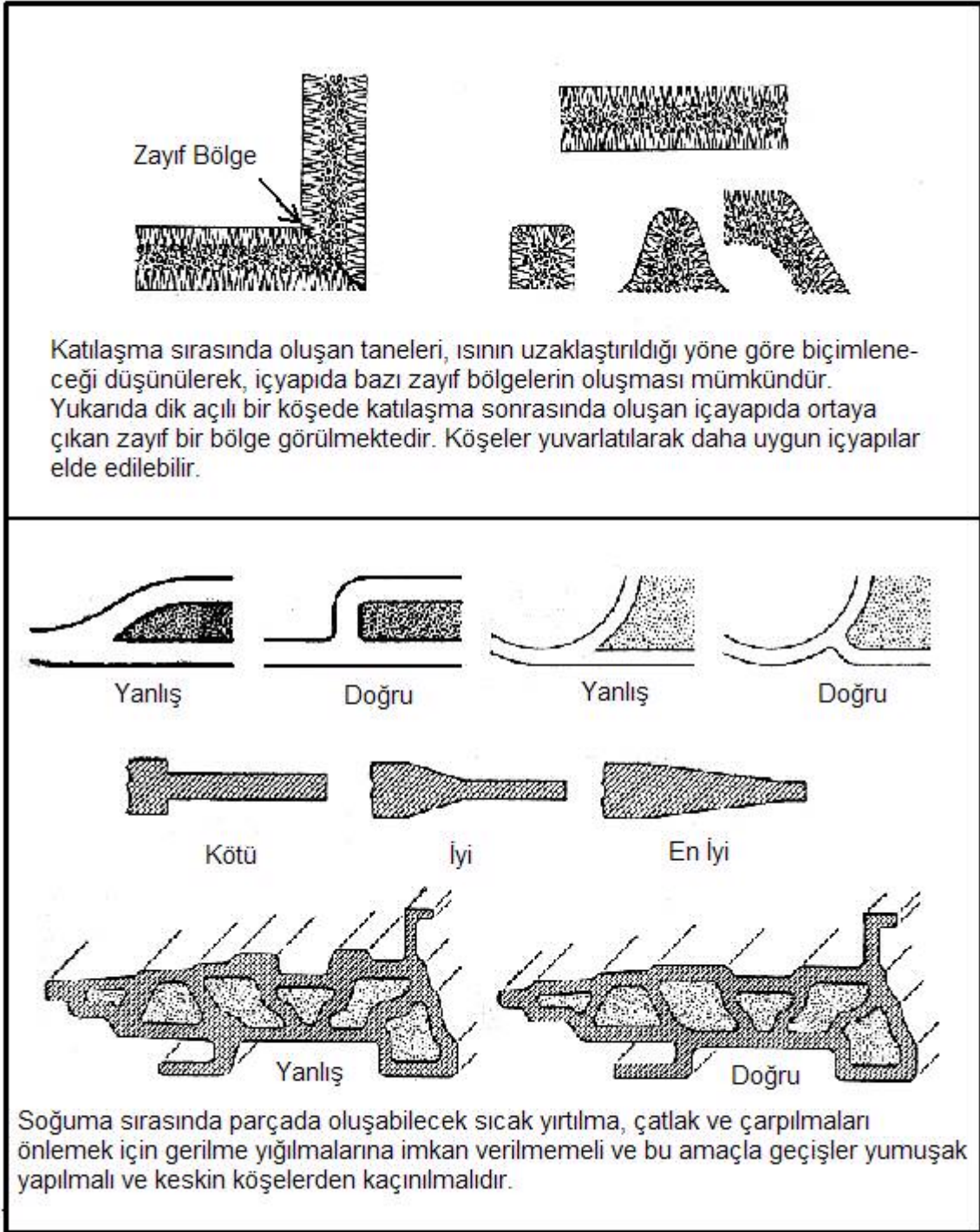
### 8.1. BİÇİMLENDİRME PRENSİPLERİ

Tasarımlarda uyulması gereken biçimlendirme prensipleri, döküm kusurlarının ortaya çıkmaması için gerekli olanlar ve imalat kolaylığı bakımından yararlı olanlar şeklinde sınıflandırılarak aşağıda (Şekil 8.1 a-c ve 8.2) verilmiştir.

Şekil 8.1a: Döküm Kusurlarının Oluşmasının Önlenmesi İçin Uyulması Gereken Biçimlendirme Prensipleri

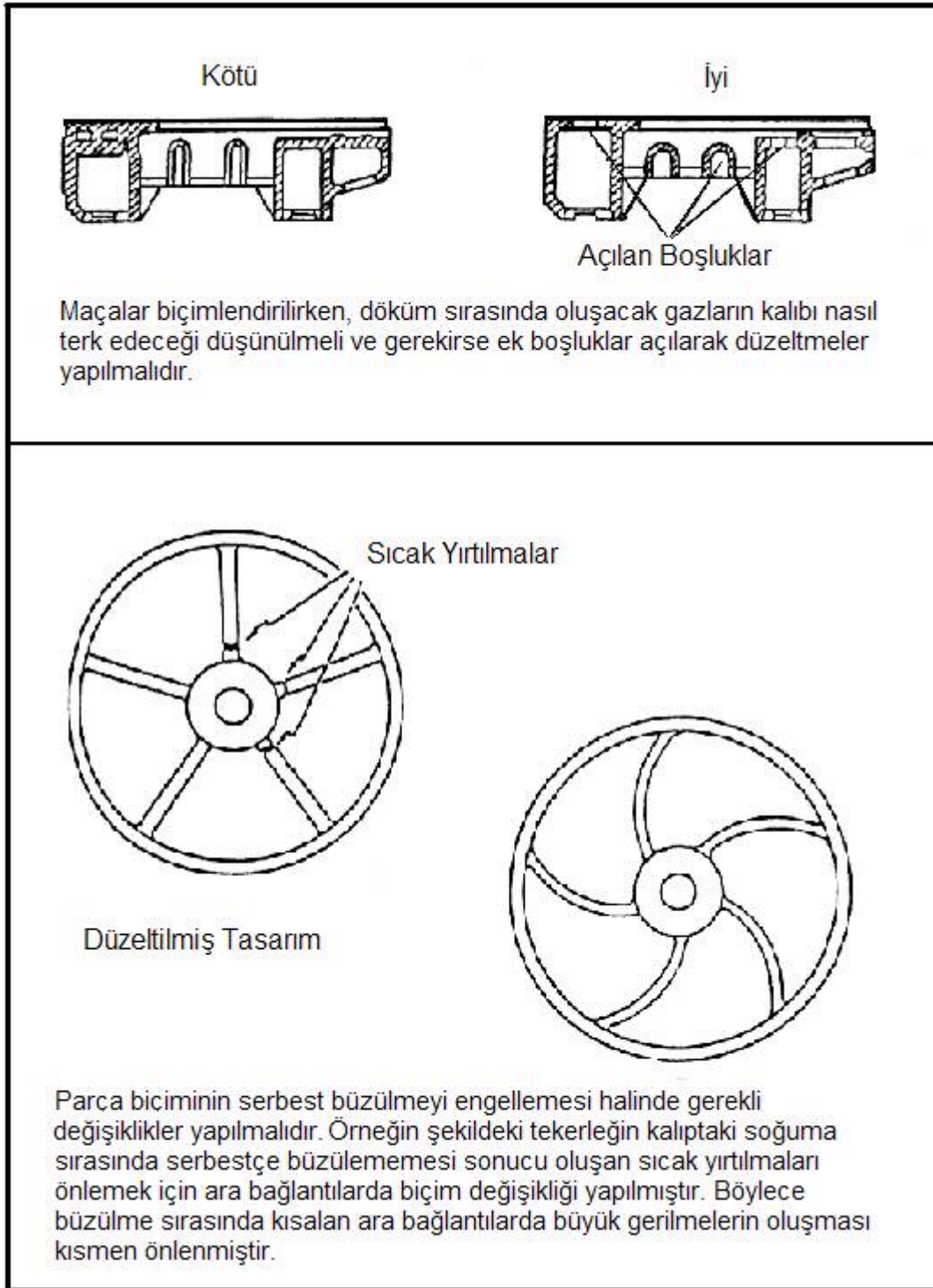


Şekil 8.1b: Döküm Kusurlarının Oluşmasının Önlenmesi İçin Uyulması Gereken Biçimlendirme Prensipleri

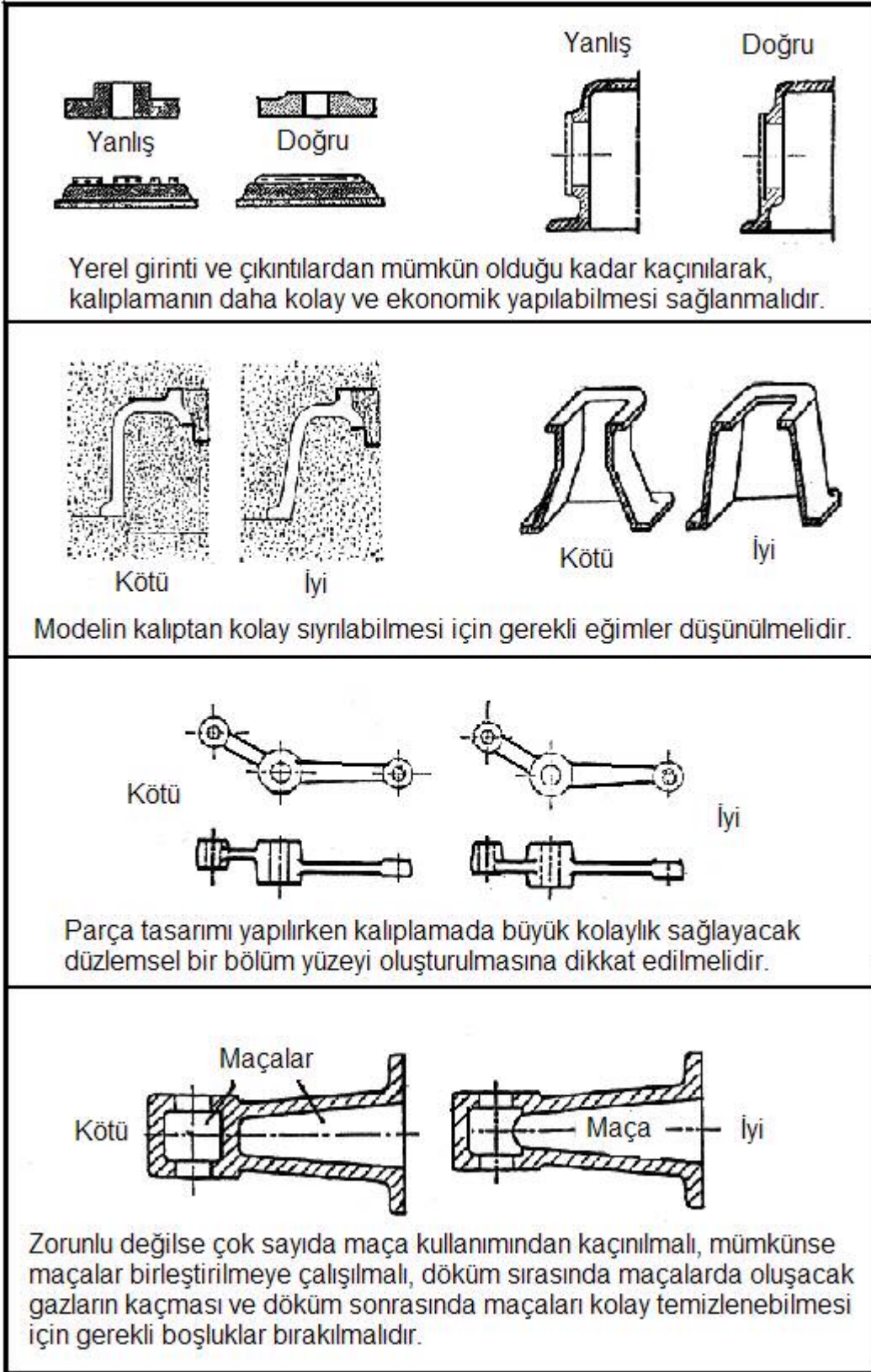




Şekil 8.1c: Döküm Kusurlarının Oluşmasının Önlenmesi İçin Uyulması Gereken Biçimlendirme Prensipleri



Şekil 8.2: Döküm Parçalarda İmalat Kolaylığı Bakımından Uyulması Önerilen Tasarım Prensipleri





## 8.2. BOYUTLANDIRMA PRENSİPLERİ

**a)** Tasarımda kullanılan en küçük cidar kalınlığı, boyut toleransları ve yüzey kalitesi uygulanacak döküm yönteminin belirlenmesinde en önemli rolü oynar. Aşırı ve gereksiz taleplerin daha pahalı yöntemlerin uygulanmasını gerektireceği unutulmamalıdır. Çizelge 8.3'te cidar kalınlığı, Çizelge 8.4'te boyut toleransları ve Çizelge 8.5'te yüzey kalitesi için, farklı malzeme ve kalıplama yöntemlerinde geçerli olan değerler verilmektedir.

**b)** Köşe, flanş, kanat, civata delikleri gibi çok kullanılan biçimler için en uygun boyutlandırmanın nasıl yapılacağı değişik el kitaplarında verilmektedir. Uzun yılların deneyimleriyle belirlenmiş bu bilgilerden mümkün olan her yerde yararlanılmalıdır.

**c)** Küçük deliklerin (örneğin kum kalıba dökümde kalınlığının yarısından veya 6 mm'den küçük) döküm sonrasında talaş kaldırılarak delinmesi, maça kullanımından daha ekonomik olmaktadır.

Çizelge-8.3. Bazı malzeme ve yöntemler için en küçük cidar kalınlıkları (mm)

MALZEME	BASINÇLI DÖKÜM		KUM DÖKÜM	KOKIL DÖKÜM	ALÇI KALIP
	Geniş Bölge	Dar Bölge			
<b>Dökme demir</b>	-	-	3	5	-
<b>Çelik</b>	-	-	5	-	-
<b>Aluminyum alaşımları</b>	2	1	3-5	3	1
<b>Bakır alaşımları</b>	2,5	1,5	2,5	3	1,5
<b>Çinko</b>	1	0,5	-	-	-

Çizelge - 12.5. Bazı kalıplama yöntemleri için yüzey pürüzlülüğü değerleri ( $\mu\text{m}$ )

KALIPLAMA YÖNTEMİ	PÜRÜZLÜLÜK ( $\mu\text{m}$ )
<b>Yaş Kum Kalıp</b>	6 - 25
<b>Özel Kum Kalıplar</b>	< 6
<b>Basınçlı Döküm</b>	0,5 - 3
<b>Hassas Döküm</b>	0,4 - 1,5
<b>Alçı Kalıba Döküm</b>	1

### **8.3. MALZEME SEÇİMİ**

Tasarımcılar parçanın öngörülen işlevini yerine getirmesi yanında imalatının da ekonomik olarak gerçekleştirilebilmesini dikkate almak zorundadırlar. Döküm yöntemi kullanılarak yapılacak bir imalatta, parçanın üretileceği malzemenin döküme uygun olarak seçilmesi çok önemlidir. Kullanılacak kalıplama yöntemi, eritmenin yapılacağı döküm ocakları, katılma sırasında çıkabilecek sorunlar gibi birçok önemli husus kullanılan malzemeye bağlıdır. Bu nedenle benzer özelliklere sahip alaşımlar arasında döküm yöntemine en uygun olanının seçilebilmesi için tasarımcı ve dökümcünün işbirliği yapmalıdır.

**ALFABETİK DİZİN**

- Akıcılık, 16  
 Alçak basınçlı döküm, 76  
 Alçı kalıba döküm, 71  
 Alevli ocaklar, 86  
 Altlık, 41  
 Ark ocakları, 86  
 Aşılama, 21  
 Aşırı ısı soğuma, 19  
 Aşırı yapısal soğuma, 33  
  
 Basınçlı döküm, 77  
 Besleyici, 29  
 Bitirme işlemleri, 90  
 Boşaltma döküm, 76  
  
 CO2 yöntemi, 52  
 Çapak, 92, 98  
 Çekirdeklenme, 18  
 Çekme boşluğu, 27, 96  
 Çekme payı, 43  
 Çıkıcı, 29  
 Çimentolu kalıplar, 55  
 Çubuksu taneler, 21  
 Çukur kalıplar, 52  
  
 Dendrit, 21  
 Direnç ocakları, 89  
 Dolu kalıba döküm, 57  
 Döküm ağızı, 13  
 Döküm parça kusurları, 95  
 Döküm parça tasarımı, 99  
 Döküm spirali, 16  
 Döküm yöntemlerini karşılaştırma, 82  
 Dökümhane, 36  
 Düzlemsel katılaşma, 24  
 Eksik döküm, 95, 97  
 Elektrikli ocaklar, 86  
 Endüksiyon ocakları, 87  
 Eritme ocakları, 83  
  
 Gaz boşluğu, 13,96  
 Gaz giderme, 11  
 Gözenekler, 12  
  
 Hassas döküm, 68  
 Havada setleşen kalıplar, 55  
  
 İşleme payı, 43  
  
 Kabuk kalıplar, 53  
 Kalıcı kalıplar, 73  
 Kalıp bozma, 90  
 Kalıp genleşmesi, 98  
 Kalıplama makinaları, 64  
 Kalıplama yöntemleri, 65  
  
 Kalite kontrol, 94  
 Katılaşma, 17  
     alaşımlarda, 22  
     hacim azalmaları, 26  
     kalıp içinde, 28  
     saf metallerde, 17  
 Kayma, 97  
 Kokil kalıplar, 74  
 Kristal büyümesi, 21  
 Kum, 58  
 Kum esaslı kalıp malzemeleri, 58  
 Kum kalıba döküm, 34  
 Kupol ocakları, 84  
 Kuru kum kalıplar, 50  
  
 Levhalı modeller, 40  
  
 Maça, 45  
 Maça yüzmesi, 98  
 Mikrogözenekler, 27  
 Mikrosegregasyon, 24  
 Modeller, 38  
  
 Onarım, 93  
  
 Öz çekirdeklenme, 19  
  
 Pislik tutucu, 13  
 Potalı ocaklar, 83  
  
 Sarsma tablası, 47  
 Savurma döküm, 79  
 Segreasyon, 98  
 Serbest modeller, 38  
 Seramik kalıba döküm, 72  
 Sıcak yırtılma, 96  
 Sıçrama, 96  
 Soğuk birleşme, 96  
 Soğutucu plakalar, 32  
  
 Şablon, 42  
 Şişme, 97  
  
 Tabakalı katı çözelti, 25  
 Tasarım prensipleri, 99  
 Toprak kalıplar, 51  
  
 Vakumlu kalıcı kalıba döküm, 76  
 Vakumlu kalıplama, 55  
  
 Yaş kum kalıplar, 49  
 Yolluklar, 13  
 Yüzey temizleme, 91