

BESLEYİCİ TASARIMI

DÖKÜM TEKNOLOJİSİ UYGULAMALARI - 2

Dr.Çağlar Yüksel

ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ

METALURJİ ve MALZEME MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ



ATATÜRK
ÜNİVERSİTESİ

1. Çekilme Boşluğu ve Yönlendirilmiş Katılaşma

Katılaşılan metaldeki çekilme/büzülme başlıca üç kademedeyi gerçekleştirmektedir;

- 1. Sıvı fazda çekilme.
- 2. Katılaşma esnasındaki çekilme.
- 3. Katı fazda çekilme.

1. Sıvı Fazda Çekilme

- Bu kademe, aşırı ısıtma(Super Heating) safhasından katılaşmanın başladığı sıcaklıklar arasında meydana gelmektedir.
- Döküm sıcaklığındaki bir metal ergiyik fazda iken bir kalıba(kum, kokil, vs.) döküldüğünde kalıp duvarıyla temas etmesiyle başlayan sıcaklık düşüşü sıvıdaki atomsal hareketin genliğinin azalmasına yol açar.
- Böyle bir durumda düşük karbonlu bir çelik için örnek verilirse ortalama %0,9-1,6 arasında bir çekinti oluşma olasılığı vardır.
- Bu çekinti besleyici kullanarak gidereceğimiz bir çekinti değildir.

2. Katılma Esnasındaki Çekilme

- Bu kademe sıvı fazdan katı faza geçiş anıdır. Besleyicinin etkin olduğu çekinti kademe burasıdır.
- İkinci kademedeki çekilme, sabit bir sıcaklıkta(ötektik katılma) veya dar bir sıcaklık aralığında(katılma aralığı dar olan metal veya alaşımlar) sıvı fazdan katı faza geçerken meydana gelen yoğunluk değişiminin neticesidir.
- Tablo 1.'de ikinci kademedeki meydana gelen çekintilerin farklı metal/alaşımlar için oranları mevcuttur.
- Dökümlerde kusur addedilen çekinti boşlukları büyük oranda bu kademedeki kaynaklı oluşur.

3. Katı fazda çekilme

- Bu kademedeki çekilmeler ya da çekintiler boşluk meydana getirmezler çünkü metal tamamen katı duruma geçmiştir.
- Ancak bu kademedeki çekilmeler/çekintiler önemli olabilecek iç gerilim, çatlak vs. gibi olaylara yol açabilmektedir.
- Bunun sebebi katılaşma tamamlanmasında oluşan kafes parametresi ile oda sıcaklığında kafes parametreleri arasındaki değer farkındandır.

Tablo 1. Çeşitli metal/alaşımlar için 2.çekinti oranları

Solidification contraction for various cast metals

Metal	Percentage of volumetric solidification contraction
Carbon steel	2.5–3
1% carbon steel	4
White iron	4–5.5
Gray iron	Varies from 1.6 contraction to 2.5 expansion
Ductile iron	Varies from 2.7 contraction to 4.5 expansion
Copper	4.9
Cu-30Zn	4.5
Cu-10Al	4
Aluminum	6.6
Al-4.5Cu	6.3
Al-12Si	3.8
Magnesium	4.2
Zinc	6.5

Yönlenmiş Katılma

- Döküm parçada meydana gelecek çekintileri engellemek ya da denetim altına alabilmek için çıkıcı veya besleyici diye nitelendirilen ilave bir parça kullanılarak döküm yapılır.
- Döküm prosesinde önemli olan katılmanın döküm parçasından besleyiciye doğru ilerleyecek şekilde tasarlanması ve gerçekleştirilmesidir.
- Ancak bu şekilde son katılma(dolayısıyla çekilme boşluğu gösterecek olan kısım besleyici içerisinde kalacaktır.
- Bu şekilde tarif edilen döküm parçasından besleyiciye doğru devamlı katılma prosesine «yönlenmiş katılma» denir.
- Şekil 1.'de de şematik gösterimi mevcuttur.

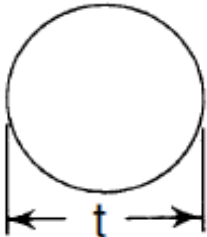
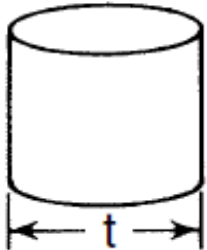
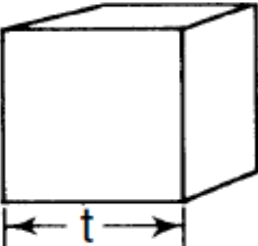
Şekil 1. Yönlenmiş Katılaşmanın Şematik Gösterimi



2. Besleyici Şekli

- Bir besleyici için en verimli şekil en az ısı kaybına yol açacak forma sahip olmalıdır.
- Böyle bir şekle sahip olan besleyici sıcak kalarak ihtiva ettiği metali de uzun süre sıvı halde tutacaktır.
- Isı-kütle prensiplerine göre besleyici için en doğru şekil küre şekilli besleyicilerdir.
- Aynı malzemedен ve aynı ağırlıktaki bir küre; bir silindir ve kare kesitli bir prizma ile mukayese edildiğinde kürenin yüzey alanına göre silindirin 1,2 katı, prizmanın ise 1,35 katı olduğu hesaplanmıştır.
- Katılama süreleri kıyaslandığında ise küre silindire göre 1,5, prizmaya göre ise 2 misli daha uzun sürelerde katılaşmaktadır.
- Ancak döküm tasarım ve kalıplama işin içerisinde girdiğinde küre şeklinin kalıplanmasının zor oluşu nedeniyle en uygun ve en genel besleyici şekli «**SİLİNDİR**» seçilmiştir.

Şekil 2. Besleyici Şekilleri

Shape	Volume V	Area A	Modulus V/A
Sphere 	$\frac{\pi t^3}{6}$	πt^2	$\frac{t}{6}$
Cylinder $h = t$ 	$\frac{\pi t^3}{4}$	$\frac{3\pi t^2}{2}$	$\frac{t}{6}$
Cube 	t^3	$6t^2$	$\frac{t}{6}$

- Bir döküm parça için katılma prosesi Modül ile tarif edilmektedir.
- $Mod\ddot{u}l = \frac{Hacim(cm^3)}{Alan(cm^2)} = cm$
- olarak hesaplanmaktadır. Modülün birimi sadece hesaplamalarda kolaylık olsun diye belirlenmiştir.
- Şekil 2.'deki farklı besleyici formları incelendiğinde katılma sürelerini mütalaa ediniz.
- Silindirik besleyiciler için h/d veya h/t oranı için düşük ve orta karbonlu çelikler için 1,5/1, katılma aralığı geniş olan alaşımların dökümü için h/d=1 oranı makul olduğu kabul edilmektedir.

3. Besleyici Boyutları

- 1. Caine Yöntemi

- 2. NRL Yöntemi

3.1. Caine Yöntemi

- Besleyici hesaplamalarının büyük bir kısmı Chvorinov kaidesine dayanmaktadır. Bu kaide katılma süresi $(\frac{V}{A})^2$ oranına bağlı olmaktadır.
- Besleyici hesabında en basit yol besleyicinin daha geç katılması gerekliliği göz önünde tutulursa besleyicinin $(\frac{V}{A})^2$ oranı döküm parçasınıkinden biraz daha büyük olacak (örn. %10-15) şekilde seçilmesidir.
- Caine tarafından bu metot çalışılmış ve Chvorinov bağıntısından faydalanarak bir katılma oranı «F» bulunmuştur.

$$F = \frac{\text{Döküm yüzey alanı/Döküm hacmi}}{\text{Çıkıcı yüzey alanı/ Çıkıcı hacmi}} > 1$$
$$F = \frac{A_D / V_D}{A_Ç / V_Ç} > 1$$

- Burada dikkat edilecek husus Caine'in kıstas olarak (A/V) oranını kullanmasıdır. Bu oran Chvorinov'un $(\frac{V}{A})^2$ oranı ile ters olarak bağıntılıdır.
- Çünkü Caine'e göre ısı disipasyonu veya dağılışı yüzey alanının bir fonksiyonudur; alan büyüdükçe ısı daha çok dağılacaktır.
- Buna karşılık ısı muhtevası ise hacmin bir fonksiyonudur; o halde (A/V) oranının katılma hızına tekabül ettiğini kabul etmiştir.

3.2. Naval Research Laboratory(N.R.L.) Yöntemi

- Caine metoduna diğer bir seçenek olan bu yöntemde besleyici hesabı daha da basitleştirilmiştir.
- Bu metodun basitliği diğer yöntemdeki yüzey alanı hesaplama/ölçülme zorluğunu gideren basit bir şekil faktörü kullanılmasıdır.
- Bu faktör basit şekiller için çok kolay, karmaşık şekiller için ise nispeten yaklaşık bir şekilde tayin edilerek doğru ve etkili besleyici tayini sağlar.

$$\text{Şekil Faktörü} = \frac{U + G}{K}$$

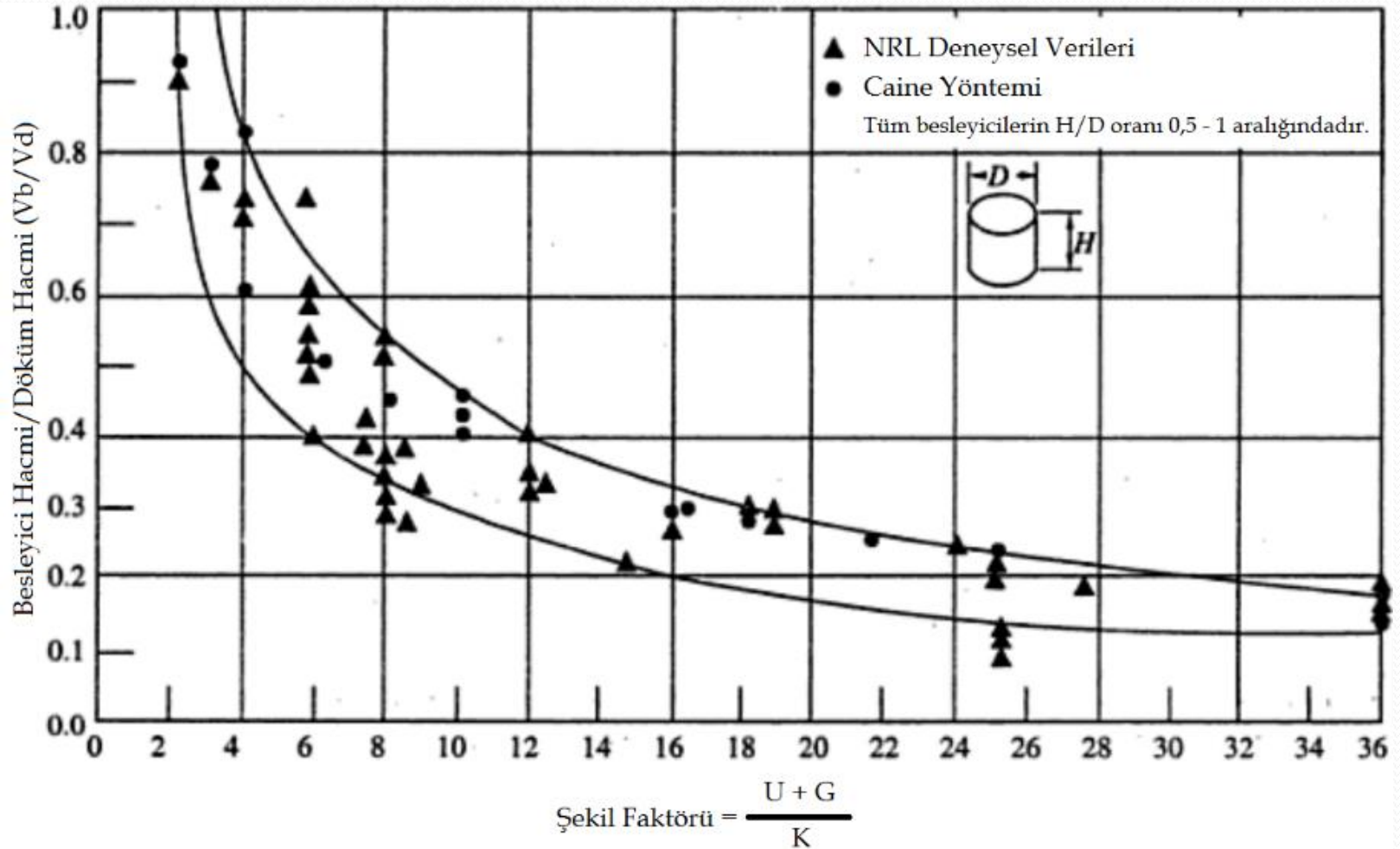
- Burada;

U= Uzunluk, G= Genişlik, K= Kalınlık,
simgelemektedir.

Bir döküm için yöntemin uygulanmasında aşağıdaki adımlar izlenmelidir.

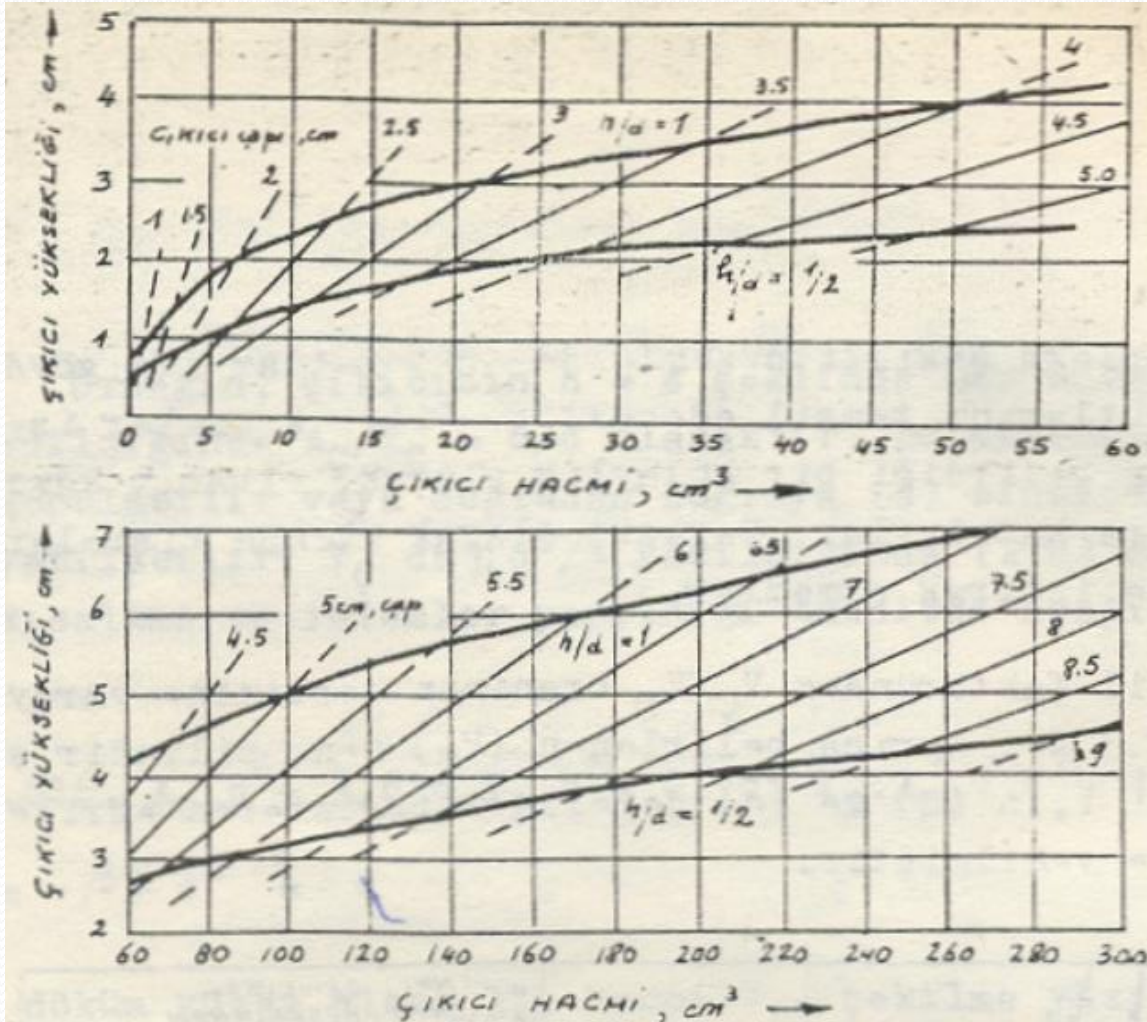
- a) «Şekil Faktörü» tespit edilmelidir.
- b) Şekil 3. yardımıyla $V_{\text{ç}}/V_d$ yani Besleyici Hacmi/Döküm Parça Hacmi oranı bulunur.
- c) V_d bilindiğine göre $V_{\text{ç}}$ için tercih edilen çap veya yükseklik Şekil 4.'ten tayin edilir.

Şekil 3. Şekil faktörü-hacim oranları grafiği

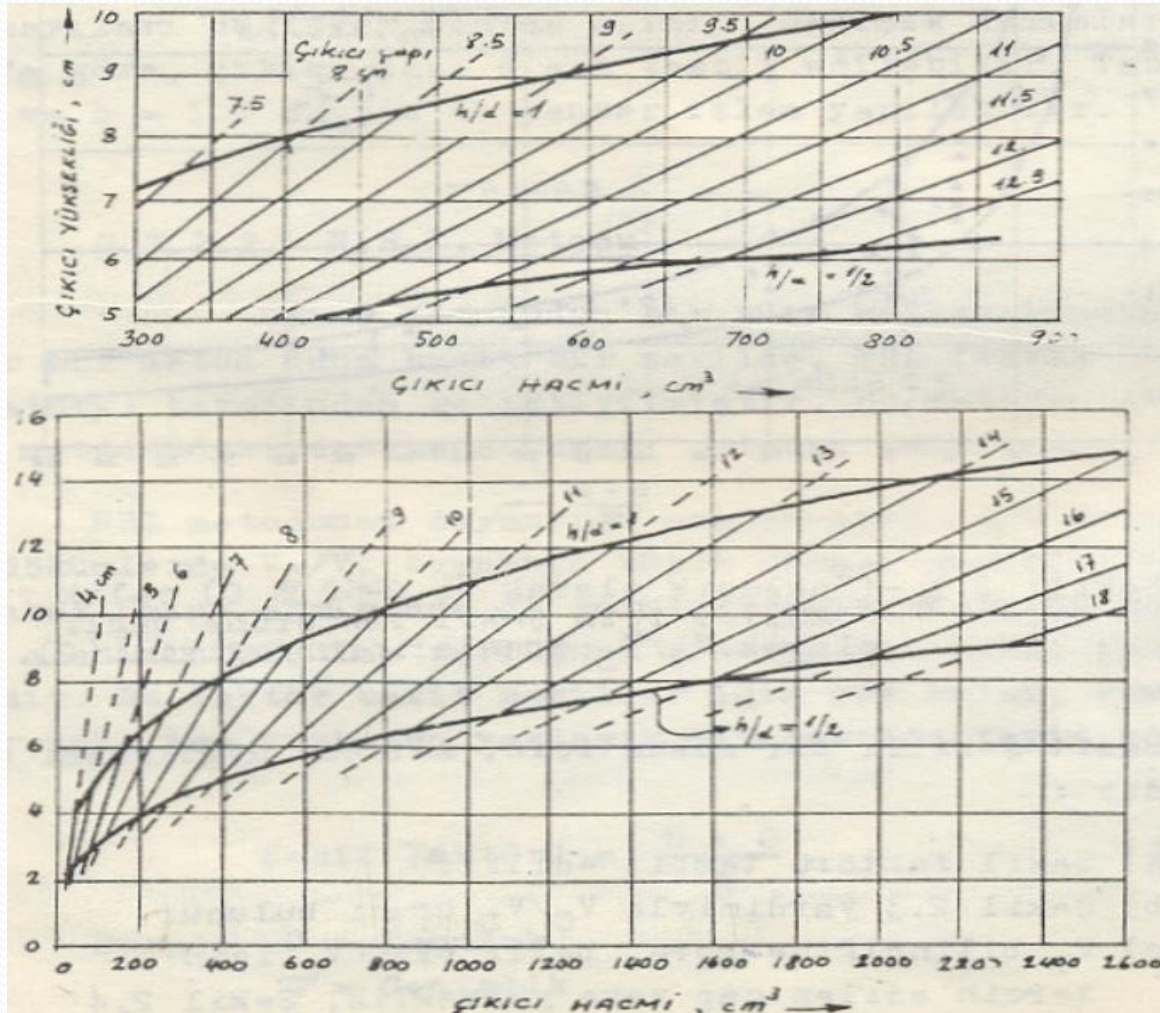


- Şekil 4.'te verilen eğrilerden üstteki kalın eğri $h/d=1$ için **besleyici** çapı, altındaki kalın eğri ise $h/d=1/2$ için uygun **besleyici** çapını hesaplamaya yardım eder.
- Grafikteki eğrilerin farklılığı eğer üstten besleme yapacaksanız $h/d=1/2$, yandan besleme yapılacak ise $h=d$ veya $h/d=1$ seçilir.
- Üstten besleme esnasında radyasyon ile ısı kaybı söz konusu olabileceğinden mümkünse yandan besleyici tasarımı kullanarak daha verimli sonuçlar alınması olasıdır.
- Şekil 4.'te **dört farklı skalaya sahip grafikler mevcuttur** fakat hepsi aynı sonuca götüren grafiklerdir. Bulduğunuz besleyici hacmi hangi skala için daha kolay hesaplanıyorsa o skaladaki eğrileri kullanınız.

Şekil 4. Çıkıcı hacmi – çıkıcı yüksekliği grafiği

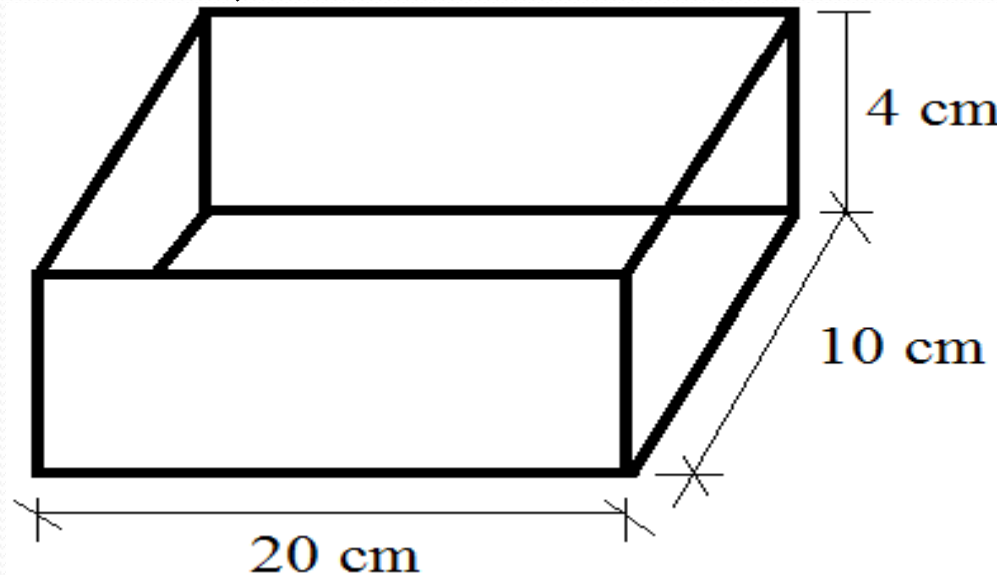


Şekil 4. Çıkıcı hacmi – çıkıcı yüksekliği grafiği



Örnek 1

- 1) $10 \times 20 \times 4$ cm boyutlarında verilen bir çelik parça dökülmektedir. Gerekli besleyici(çıkıcı) hesabını N.R.L. Yöntemi kullanarak çözünüz.



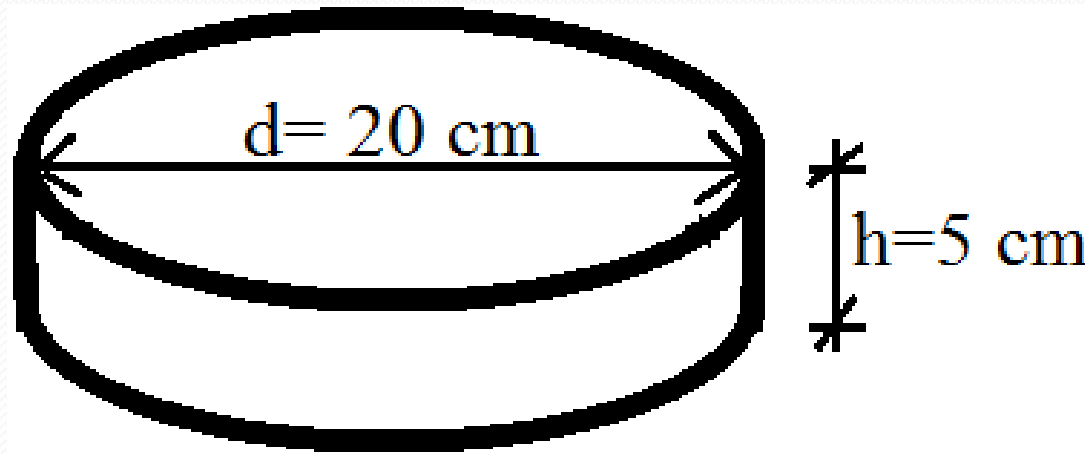
Çözüm 1

- Öncelikle Şekil Faktörünü bulmamız gerekiyor;
- $\text{Şekil Faktörü} = \frac{U+G}{K} \Rightarrow \text{Ş.F.} = \frac{20+10}{4} = 7,5$
- Daha sonra Şekil Faktörü- $V_{\text{ç}}/V_d$ grafiğinden yani Şekil 3.'ten sağlam/boşluksuz döküm elde edebilmek için uygun $V_{\text{ç}}/V_d$ oranını bulmalıyız.
- Şekil Faktörü 7,5 ise uygun $V_{\text{ç}}/V_d$ oranı 0,5 civarında seçilebilir. Burada dikkat edilecek husus eğrilerin arasındaki değerlerdir. Eğrilerin üzerinde seçeceğimiz $V_{\text{ç}}/V_d$ değerleri zaten parçanın sağlam çıkacağını göstermektedir. Ancak eğrilerin üzerinde seçilen değerler ekstra sıvı metal ihtiyacı demektir, bu da ekstra maliyet demektir. Bu yüzden mümkün olduğunda en uygun(optimum) değeri belirlemek gerekmektedir.

- $V_{\text{ç}}/V_d=0,5$ işlemini gerçekleştirebilmek için;
Vd yani döküm parçanın hacmini bulmak gerekir.
 $V_d=10*20*4 = 800 \text{ cm}^3$ olduğuna göre;
 $V_{\text{ç}}=800*0,5 = 400 \text{ cm}^3$ 'tür.
- Besleyici yandan tasarladığınız düşünülürse;
h=d olacaktır ; Şekil 4 yardımıyla; 400 cm^3 'ten dik bir çizgi çektiğinizi düşünerek h=d eğrisini 8cm civarında kestiği görülmektedir.
- Besleyiciyi üstten tasarladığınız düşünülürse;
 $h/d=1/2$ olacağından Şekil 4'teki en son grafikteki 400 cm^3 'lük veriyi kullanarak dik bir çizgi çektiğiniz varsayılarak $h/d=1/2$ eğrisini kesen çizgi 10 cm'dir yani besleyici çapınız 10 ise h değerinizi de 5 cm çıkacaktır.

Örnek 2

- 2) 20 cm çapında 5 cm kalınlığında bir disk için gerekli besleyici tespiti N.R.L. Yöntemi kullanarak hesaplayınız.



Çözüm 2

- *Şekil Faktörü* = $\frac{U+G}{K} \Rightarrow \text{Ş.F.} = \frac{20+20}{5} = 8$
- Şekil faktörünü hesaplarken parçanız disk olduğundan uzunluğu da genişliği de çapı kadardır o yüzden 20 cm kullanılmıştır. Kalınlık ise bu form için yükseklik ile alakalı olduğundan 5 cm olarak kullanılarak Şekil Faktörünü 8 olarak bulduktan sonra $V_{\text{ç}}/V_d$ değerini bulmalısınız.
- Bu değeri Şekil 3.'ten 0,5 olarak tayin ettikten sonra $V_{\text{ç}}/V_d$ oranından $V_{\text{ç}}$ 'yi bulabilmek için döküm parçanın hacmini bulmak gerekiyor.
- $V_d = \frac{\pi d^2}{4} \times h = \frac{3,14 \times 400}{4} \times 5 = 1570 \text{ cm}^3$
- $V_{\text{ç}} = 1570 \times 0,5 = 785 \text{ cm}^3$
- Şekil 4.'ten Üstten besleme için $h=6,25 \text{ cm}$, $d=12,50 \text{ cm}$
Yandan besleme için $h=d=10 \text{ cm}$

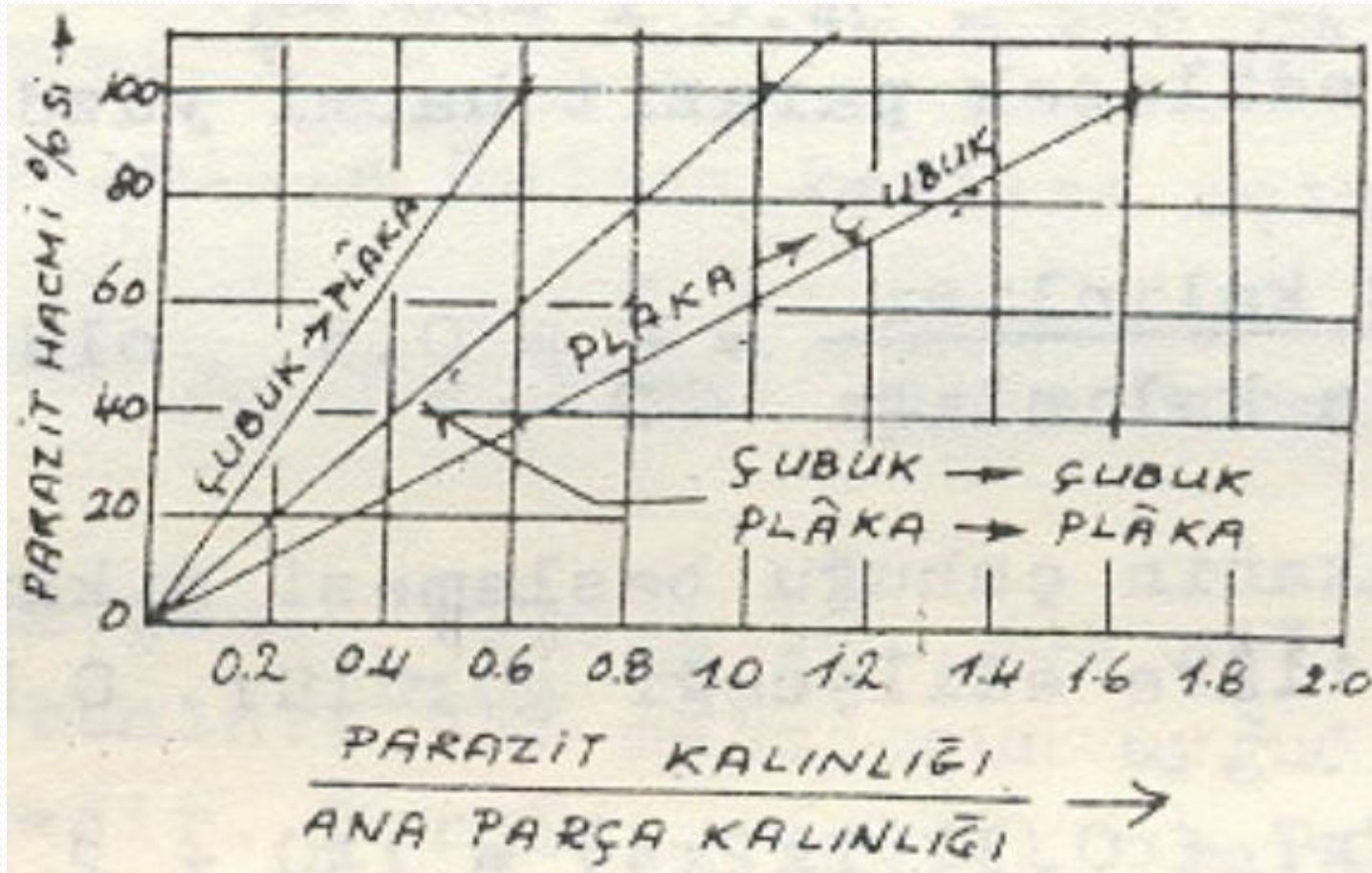
İlave parçalı dökümler için besleyici hesaplamaları

- Bir döküm parçasında ana parçaya ilave(parazit) kısımlar mevcut olabilir. Böylesi durumlarda katılma zamanı çok artmamakla beraber besleyici oranında belirli bir sıvı metal artışı gerekliliği söz konusudur.
- Böylece çıkıcı yine döküm parçası ve ilavelerinden(parazit) bir süre sonra katılacaktır.
- Parazit kısımların büyük olması durumunda besleyiciye yapılacak ilavenin de büyük olacağı aşikardır.
- Çok ince parazitler soğuma hızını arttırıcı etkisi vardır.
- Bütün parazit kısımlar iki ana şekilde «ÇUBUK» ve «PLAKA» şekillerine benzetilerek hesaplamalara katılırlar.
- Parazitler Şekil Faktörü hesaplamalarına girmezler.

- Çubuk ve plaka ayrımı için kıstas parçanın genişliği (G) ile kalınlığı (K) arasındaki bağıntıya dayalıdır.
- $G > 3K$ olduğunda «PLAKA»,
- $G \leq 3K$ olduğunda «ÇUBUK»
- Şekil 5.'te döküm hacmine ilave edilecek parazit hacmi yüzdesinin tespiti yapılmaktadır.

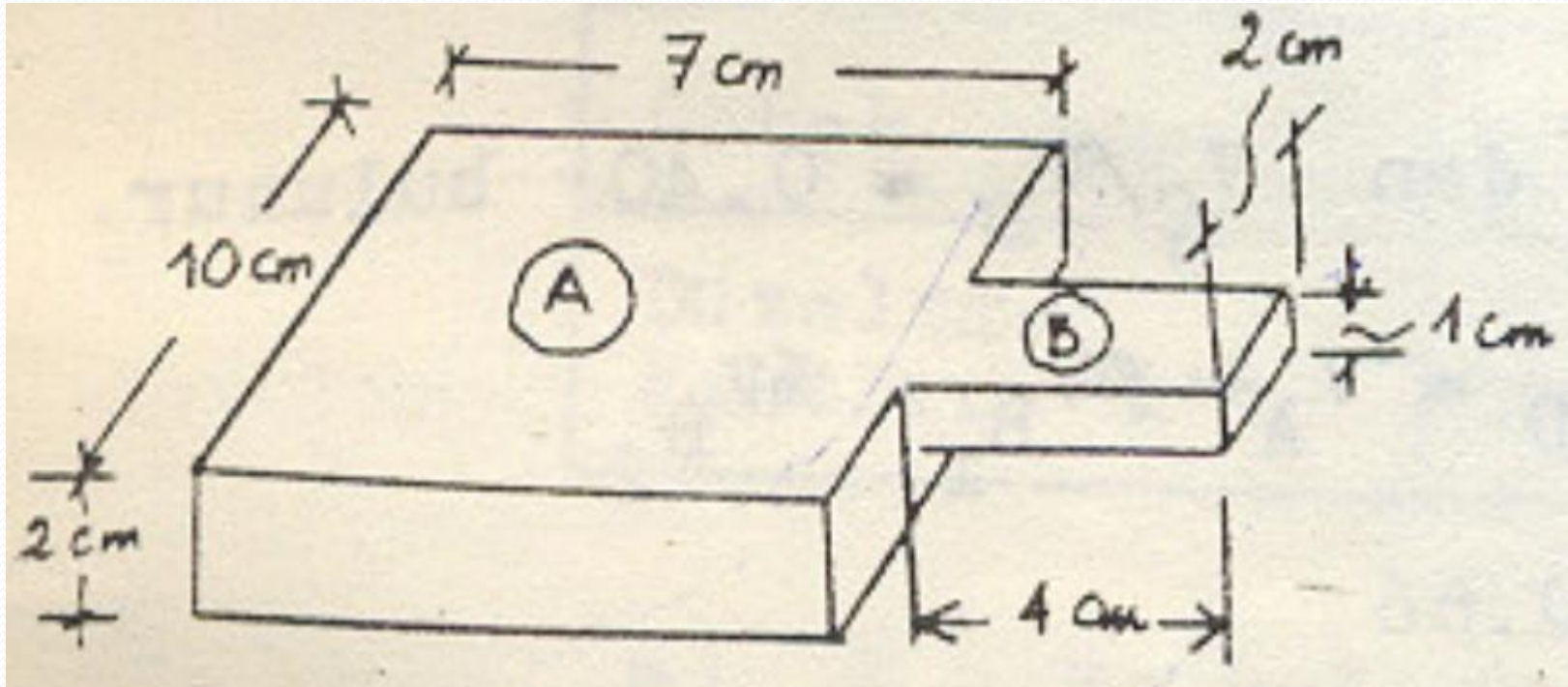
- İlave parçalı döküm prosesi için besleyici hesabı;
- 1) Ana parça ve parazit tayini,
- 2) Ana parça ve parazit; plaka mı? çubuk mu?
- 3) Şekil Faktörü hesabı,
- 4) $V_{\text{ç}}/V_d$ tayini (Şekil 3 kullanılarak),
- 5) V_d hesabı yalnız dikkat edilecek husus döküm parçanın hacmi hesaplanırken % parazit hacmi oranı tayini (Şekil 5 kullanılarak). Bu oran parazit kalınlığı/ana parça kalınlığı oranından plakanın çubuğu beslemesi, çubuğun plakayı besleme durumu ve her ikisinin de plaka ya da çubuk olarak beslenme durumu olmak üzere 3 farklı durum için gerekli % parazit hacim oranı tayini yapılır.
- Daha sonra döküm hacmi hesaplanırken grafikten elde edilen oran ile parazitin hacmi çarpılarak ana parça hacmi ile toplanıp döküm hacmi hesaplanır. [$V_d = V_{\text{ana parça}} + (V_{\text{parazit}} \cdot \% \text{ parazit hacmi})$]
- Daha sonra $V_{\text{ç}}/V_d$ oranından besleyici hacmi bulunarak Şekil 4'ten gerekli yükseklik ve çap bulunur.

Şekil 5. Kalınlık oranları – parazit hacmi grafiği



Örnek 3

- Aşağıda şekli ve boyutları verilen çelik döküm parçası için gerekli besleyici(çıkıcı) boyutlarını N.R.L. Yöntemi uygulayarak hesaplayınız.



Çözüm 3

- Ana parça ve parazit tayini ile şekil itibariyle plaka mı çubuk mu?

A parçası ana parça,

B parçası parazittir.

Buna göre $G > 3K$ olduğunda «PLAKA»,

$G \leq 3K$ olduğunda «ÇUBUK»

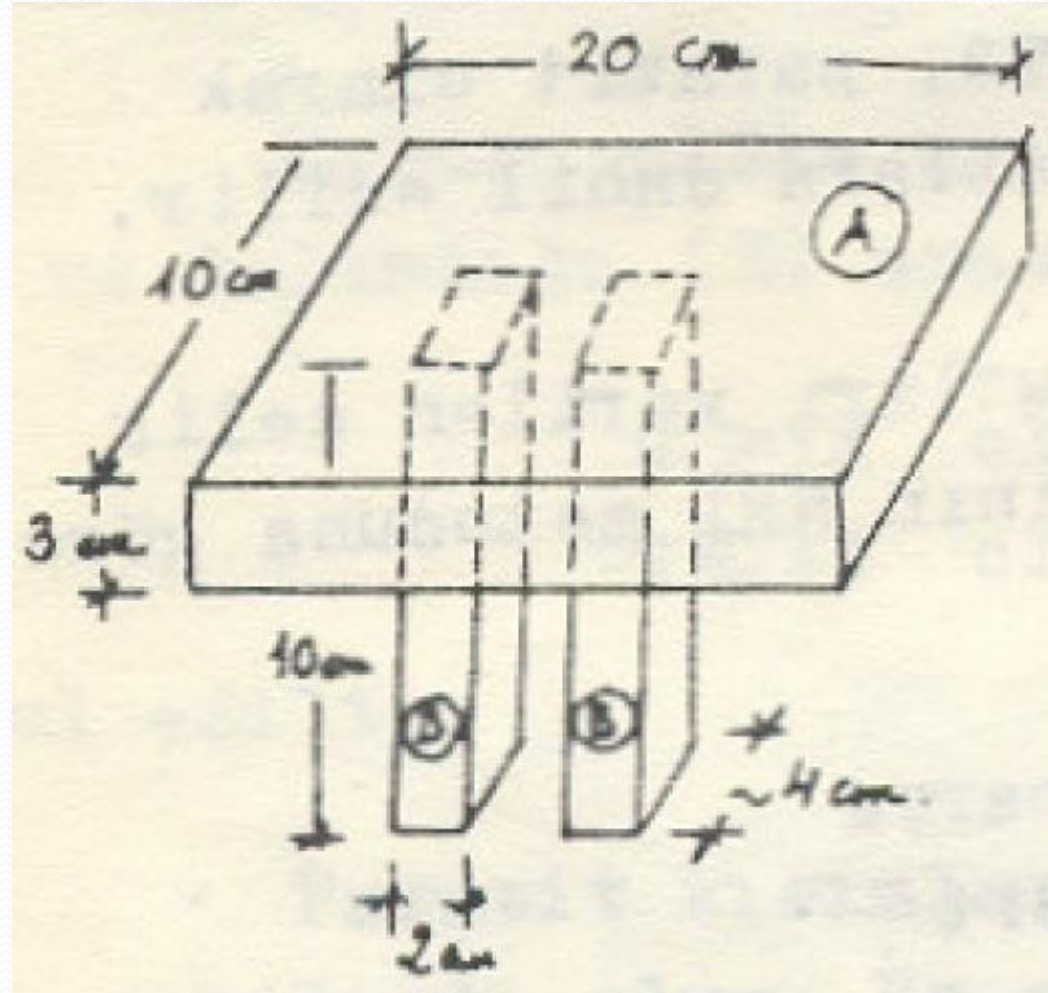
A için $7 > (3.2)$ yani $7 > 6$ ise Plaka,

B için $2 < (3.1)$ yani $2 < 3$ ise Çubuk.

- $\text{Şekil Faktörü} = \frac{U+G}{K} \Rightarrow \text{Ş.F.} = \frac{10+7}{2} = 8,5$
- Şekil 3'ten $V\phi/Vd$ oranını 0,45 seçilebilir.
- Şekil 5 kullanılarak % parazit hacmi tayini yapılmalıdır.
- Parazit kalınlığı/ana parça kalınlığı=1/2=0,5 ise plakanın çubuğu besleme durumu için parazit hacminin %30'u kadar ilave edilmesi gerektiği görülür. Katılaşma prensibine göre plaka çubuktan daha sonra katılaşacağı için;
plaka->çubuk durumundan faydalanılmıştır.
- O halde;
 $Vd = V \text{ ana parça} + (V_{\text{parazit}} * \% \text{ parazit hacmi})$
 $Vd = 10 * 2 * 7 + 0,30(1 * 2 * 4) = 140 + 2,4 = 142,4 \text{ cm}^3$ ise $V\phi = 142,4 * 0,45 = 64 \text{ cm}^3$ olacaktır.
- Üstten besleme durumunda Şekil 4'ten $h/d=1/2$ ise $d=5,5\text{cm}$, $h=2,75 \text{ cm}$
- Yandan besleme durumunda Şekil 4'ten $h=d$ için yaklaşık olarak $h=d=4,2 \text{ cm}$ olacaktır.

Örnek 4

- Yanda şekli ve boyutları verilen çelik döküm parçası için gerekli besleyici (çıkıcı) boyutlarını N.R.L. Yöntemi uygulayarak hesaplayınız.



Çözüm 4

- Ana parça ve parazit tayini ile şekil itibariyle plaka mı çubuk mu?

A parçası ana parça,

B parçaları parazittir.

Buna göre $G > 3K$ olduğunda «PLAKA»,

$G \leq 3K$ olduğunda «ÇUBUK»

A için $10 > (3 \cdot 3)$ yani $10 > 9$ ise Plaka,

B için $4 < (3 \cdot 2)$ yani $4 < 6$ ise Çubuk.

- Şekil Faktörü** $= \frac{U+G}{K} \Rightarrow \text{Ş.F.} = \frac{10+20}{3} = 10$
- Şekil 3'ten $V_{\text{ç}}/V_d$ oranını 0,40 seçilebilir.
- Şekil 5 kullanılarak % parazit hacmi tayini yapılmalıdır.
- Parazit kalınlığı/ana parça kalınlığı** $= 2/3 = 0,66$ ise plakanın çubuğu besleme durumu için parazit hacminin %40'u kadar ilave edilmesi gerektiği görülür. Katılma prensibine göre plaka çubuktan daha sonra katılacağı için; plaka->çubuk durumundan faydalanılmıştır.
- O halde;

$V_d = V_{\text{ana parça}} + (V_{\text{parazit}} \cdot \% \text{ parazit hacmi})$ olması gerekirken parazit sayısının artmasından dolayı her parazit için eğer kalınlık değişmiyor özdeş bir durum söz konusu ise parantez içerisinde hesaplanacak olan $V_{\text{parazit}} \cdot \% \text{ parazit hacmi}$ değerini bu örnek için 2 parazit olduğundan 2 ile çarpmak uygun olacaktır.

$$V_d = V_a + \%V_{p1} + \%V_{p2} = 10 \cdot 20 \cdot 3 + 2 \cdot 0,40 \cdot (10 \cdot 2 \cdot 4) = 600 + 64 = 664 \text{ cm}^3 \text{ ise } V_{\text{ç}} = 664 \cdot 0,40 = 266 \text{ cm}^3 \text{ olacaktır.}$$

- Üstten besleme durumunda Şekil 4'ten $h/d=1/2$ ise **d=9cm, h=4,5 cm**
- Yandan besleme durumunda Şekil 4'ten $h=d$ için yaklaşık olarak **h=d=7 cm** olacaktır.