



BÖLÜM 7

SERTLEŞMİŞ BETON

Büzülme

Betonda büzülme katı malzemelerin dibe çökmesi nedeni ile yüzeye çıkan suyun kaybolmasıdır. Buna “**plastik büzülme**” denir.

Su ile çimentonun reaksiyona girmesi ile oluşan büzülmeye “**otojen (kendi kendine oluşan) büzülme**” denir.

Betonun kurummasından dolayı oluşan büzülme ise “**kuruma büzülmesi**” olur.

ÇATLAKLAR: Beton çepeçevre kalıp ile sarıldığından dolayı hareket edemez ve hacimsel değişiklikler iç gerilmelere sebep olur. Bunun sonucunda ise çatlaklar oluşur.

Plastik Büzülme

- Betonun prizinden önce oluşur.
- En çok riskli olan elemanlar plakalardır. Yüzey alanından dolayı yüzeyde çatlaklar oluşur ve derinlemesine içeriye doğru ilerler.

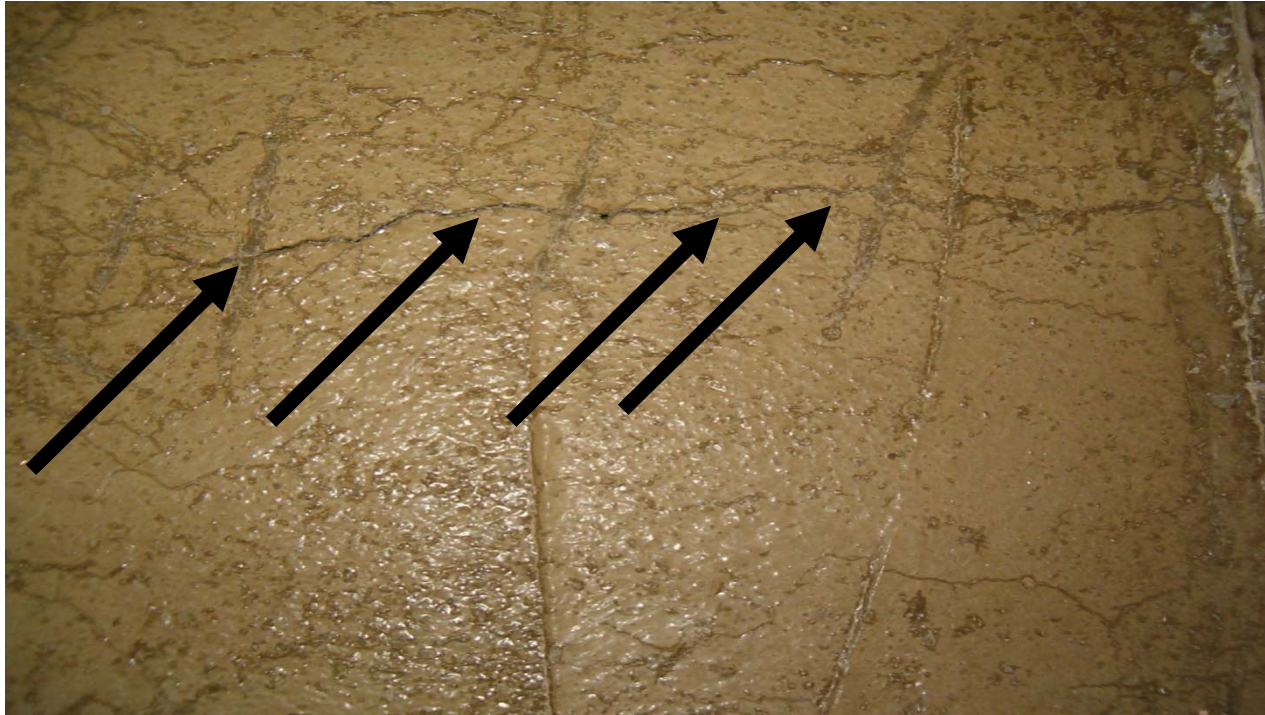
– Önlem var mı?

Su kaybını herhangi bir kür metodu ile en aza indirin.

Plastik Beton



Plastik Büzülme Çatlakları



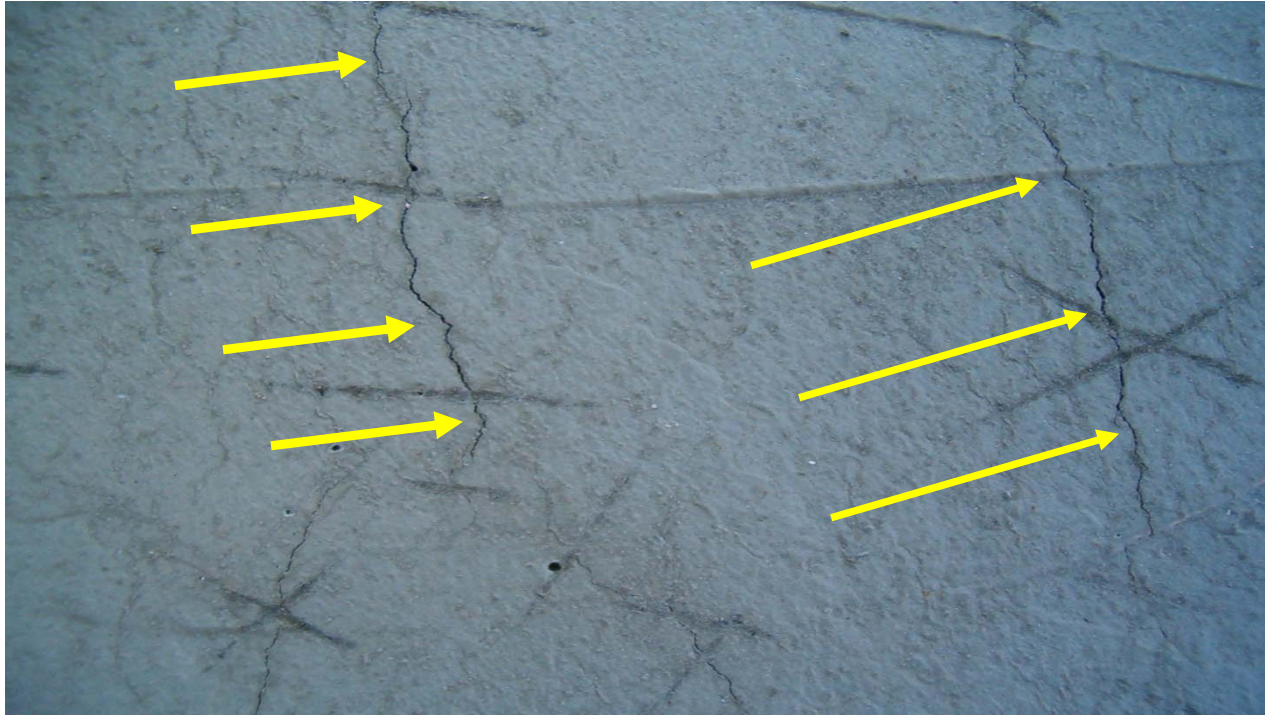
Otojen Büzülme

- Su miktarı sabit olan ortamda çimento ile olan hidratasyon sonunda çimento pastasının hacminde azalma olur. Bu da büzülme ile neticelenir.
- Otojen büzülme kendiliğinden oluşur.
 - Otojen büzülmeyi etkileyen faktörler:
Çimentonun kimyasal kompozisyonu,
İlk su miktarı,
Sıcaklık ve zaman.

Kuruma Büzülmesi

- Kuru beton suda kür edildikten sonra kurumaya bırakılırsa önceleri iç boşluklarındaki ve kapiler kanallardaki suyunu kaybeder. Bir süre daha kurumaya bırakılırsa çimento jeli içerisindeki suyu kaybeder. Bundan dolayı oluşan büzülmeye “[kuruma büzülmesi](#)” denir.
- Büzülme kuruma sürdükçe devam eder fakat zamanla bu hız azalma eğilimi gösterir.
- Kabul edilen gerçek: [Büzülme %50'sini ilk yıl tamamlar.](#)

Kuruma büzülmesi çatlakları



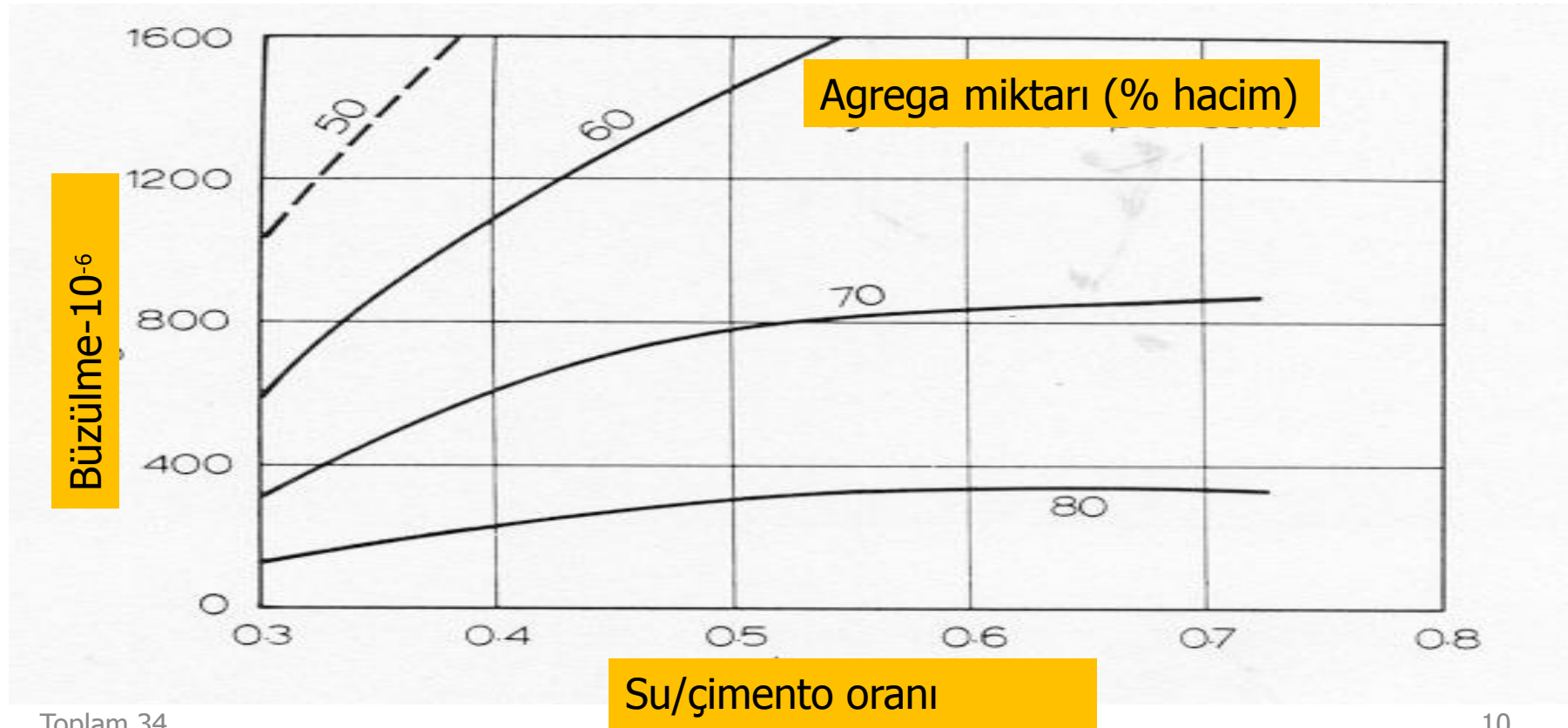
Kuruma büzülmesini etkileyen faktörler

- Betonu oluşturan malzemelerin tipi, miktarı ve oranları (imento, su, agregalar, vs),
- Beton elemanın boyutu ve řekli,
- Demir donatının miktarı ve dağılımı,
- Havadaki bağıl nem oranı.

Kuruma büzülmesi su/imento oranı ile doğru orantılı, agrega/imento oranı ile de ters orantılıdır. (bak şekil 1).

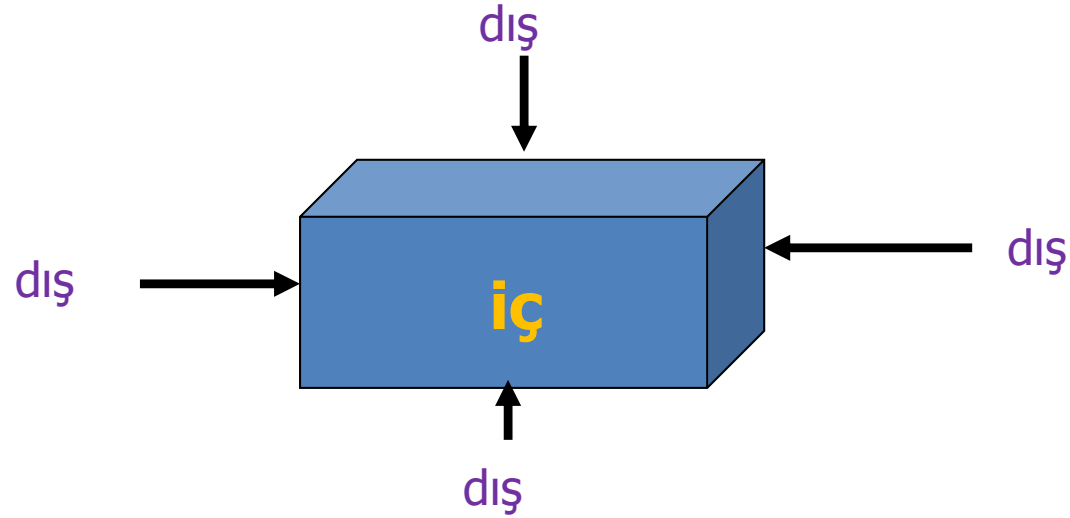
- *Çimento miktarı arttıkça büzülme artış gösterir. Neden?*

Şekil 1. Su/çimento oranı ve agrega (%) miktarının büzülmeye olan etkisi.



Dayanıklılık

- Betonun dayanıklılığı betonun iç ve dış etkilere karşı koyabilme gücüdür.



Dayanıklılığı Etkileyen Faktörler

Dış faktörler

1. Fiziksel, kimyasal veya mekanik:
 - a) Çimento süzülmesi (Ca(OH)_2)
 - b) Sülfatların, deniz suyunun ve doğal asitli suların etkisi.
2. Çevresel: Aşırı sıcaklık değişiklikleri ve aşınma.
3. Doğal veya endüstriyel gazların/sıvıların etkisi.

İç faktörler:



1. Alkali-agrega (silis) reaksiyonu (AAR/ASR).
2. Agregada ve çimento pastasındaki termal davranış farklılıkları.
3. Betonun geçirimsizliği.

Alkali-Agrega reaksiyonları (AAR or ASR):

- Çimentodaki alkaliler ve agregada bulunan aktif silis arasında gelişir. Sonucunda ise istenmeyen genişlemeler ve çatlaklar oluşur.
- Reaktif silis “opal” agregasında bulunur.

AAR sonrasında oluşan çatlaklar



– Önerilen koruma yöntemleri:

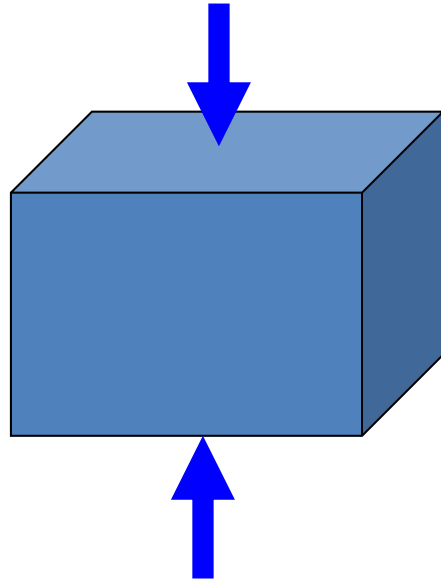
- Düşük su/çimento oranı (0.5 veya daha az),
- Uygun işlenebilirlik,
- İyi karışım,
- Düzgün yerleştirme ve sıkıştırma,
- Yeterli/zamanında yapılan kür.

Sertleşmiş Beton Deneyleri

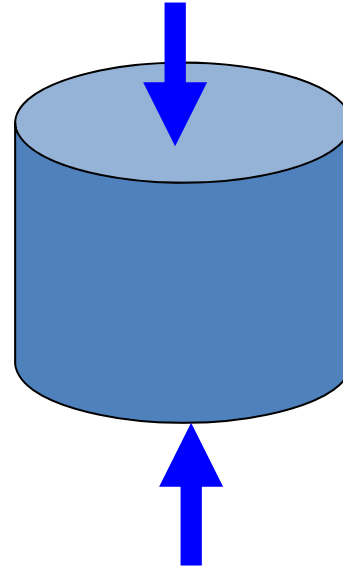
Basınç Mukavemeti

- En önemli özelliklerden biridir. Karışım tasarımları sırasındaki hesaplarda kullanılır.
- Kullanılan numune boyutları genelde şöyledir:
Silindir numune : 7.5, 10, 15 cm (çap)
Küp numune: 5, 10, 15 cm
- Basınç mukavemetini etkileyen pek çok etken vardır (çevresel, kür koşulları). Bundan dolayı tasarlanan ve gerçekte olan basınç mukavemeti aynı değildir.

Küp & Silindir Numuneler



$a = 5, 10, 15 \text{ cm}$



$\text{Çap} = 7.5, 10, 15 \text{ cm}$

Basınç Mukavemeti Deneyi

- Silindir/küp numuneler kullanılır.
- Boş numune kalıpları taze (metal/bakalit) beton ile doldurulur (standart metodlar izlenerek).
- 24 saat sonunda numuneler kalıptan çıkarılır ve bakım için “kür tankı veya kür odasına (nem oranı ve sıcaklığı belirlenmiş)” taşınır.
- Deney yapılana kadar burada kalırlar.

Basınç Dayanımı

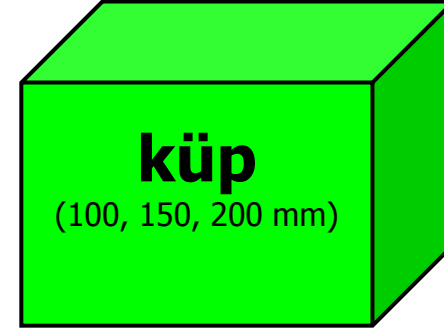
- P = Kırılma kuvveti
- D = Silindir çapı
- a = Küp kenar boyutu

$F_c = (\text{kırılma kuvveti}) / (\text{yük uygulama alanı})$

$$f_c = \frac{4 P}{\pi D^2} \quad \text{silindir}$$

$$f_c = \frac{P}{a^2} \quad \text{küp}$$

Toplam 34



19

Beton Basınç Mukavemeti Deneyi

Silindir
numune



Numune Boyutu Çevirme Çizelgesi

	böl			
	100 mm küp	150 mm küp	200 mm küp	150x300 mm silindir
100 mm küp	1	1.01	1.05	1.22
150 mm küp	-	1.00	1.04	1.20
200 mm küp	-	-	1.00	1.15
100x200 mm silindir	-	-	-	1.06

C14-C35 için 28-günlük beton için silindir basınç mukavemeti

Beton sınıfı	Karakteristik basınç mukavemeti (MPa)	Ortalama mukavemet (MPa)	Arazide istenen en düşük basınç mukavemeti (MPa)	İstenen Ortalama basınç mukavemeti (MPa)
C14	14	18	11	17
C16	16	20	13	19
C18	18	22	14	22
C20	20	26	17	23
C25	25	31	22	28
C30	30	36	27	33
C35	35	43	32	38

Çekme Dayanımı

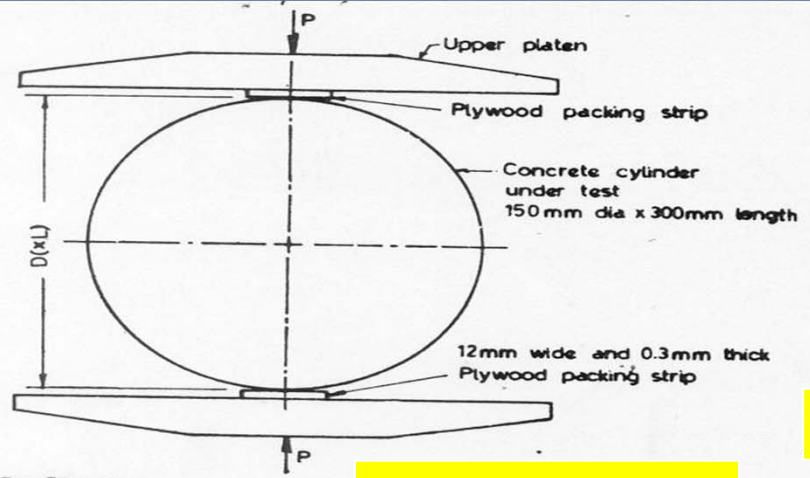
- Büzülme ve sıcaklık değişikliklerine karşı betonun direnmesini sağlayan önemli bir özelliktir.

a) Doğrudan çekme dayanımı:

Ölçülmesi zordur ve genelde yapılmaz.

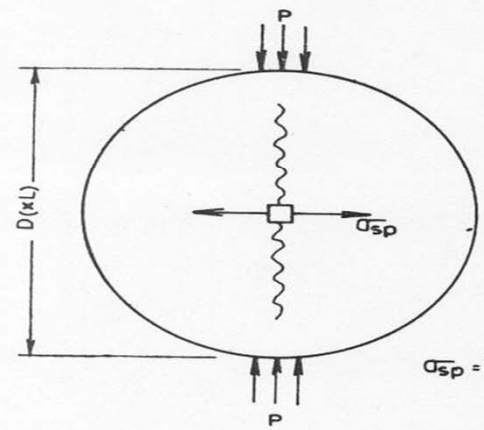
b) Basmada yarma dayanımı:

Silindir veya küp numuneler üzerinde yapılır ([Şekil 4](#)). Dolaylı yoldan çekme dayanımını ölçmeye yarar.

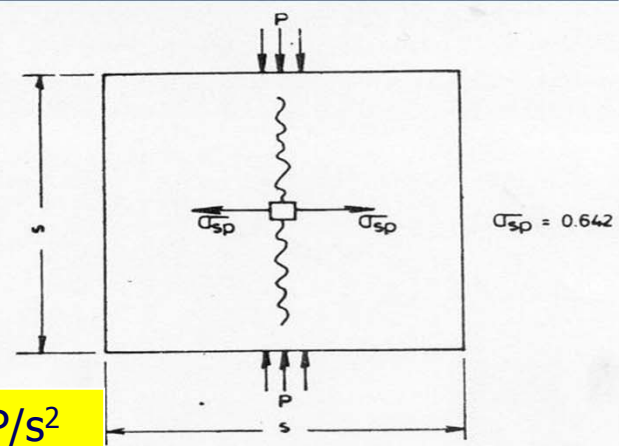


D = Diameter
L = Length

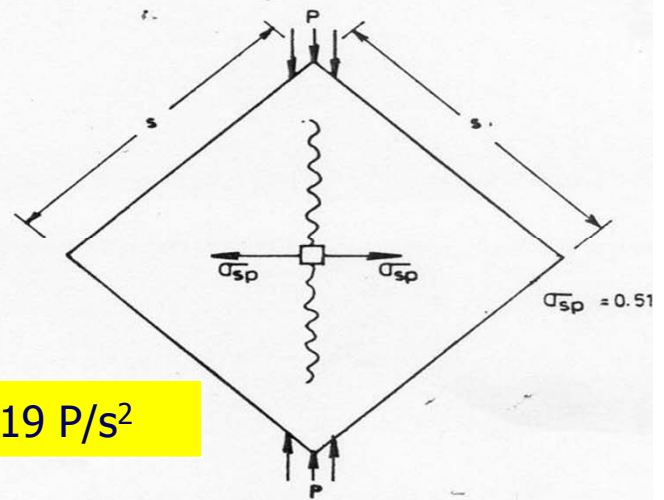
$$\sigma_{sp} = 2P/\pi D L$$



$$\sigma_{sp} = 2P/\pi d$$



$$\sigma_{sp} = 0.642 P/s^2$$



$$\sigma_{sp} = 0.519 P/s^2$$

Şekil 4 Basmada yarma dayanımı deney metodları.

Basmada Yarma Dayanımı (Brezilya Deneyi)

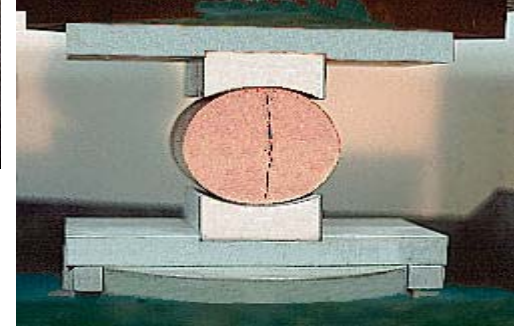
$$\sigma_{sp} = \frac{2P}{\pi l d} \quad \text{cylinder}$$

l : silindir yüksekliđi

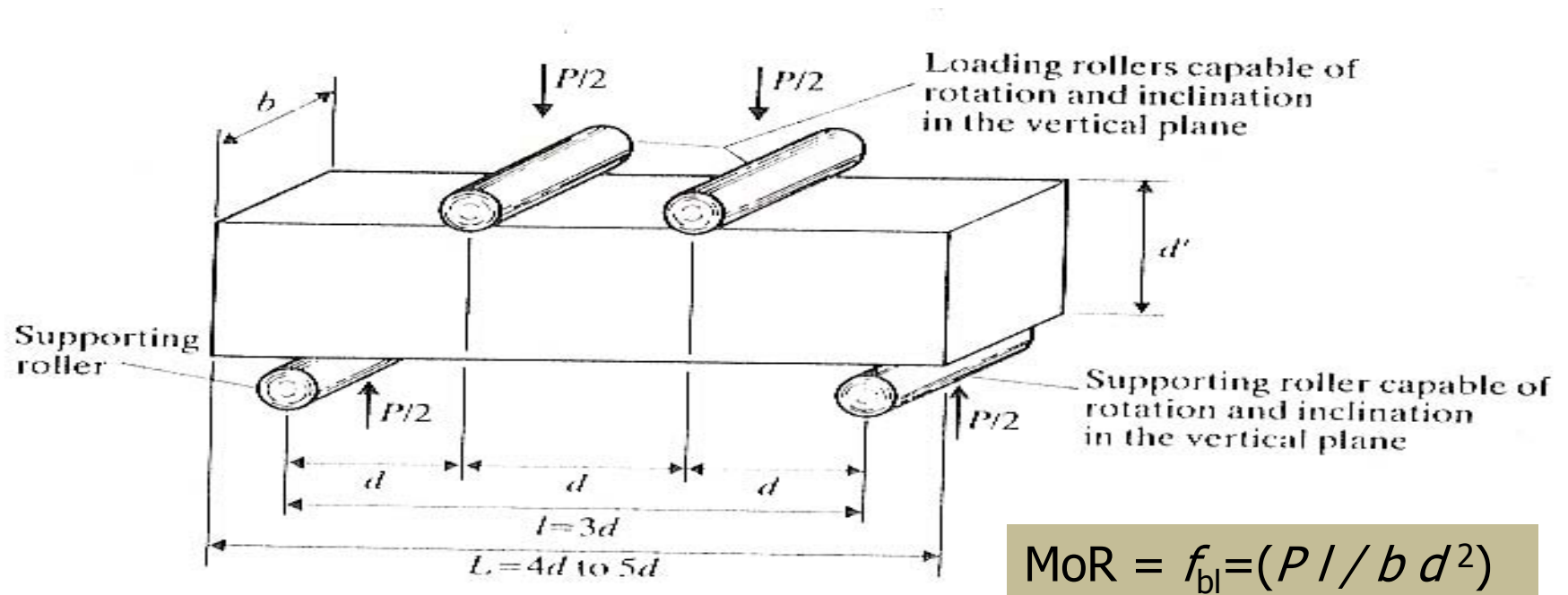
d : silindir apı

P : Kırılma kuvveti

σ_{sp} : basmada yarma dayanımı (basınç mukavemetinin %10'una eşit)



Kirişler üzerinde yapılan çekme deneyi



- Deney sonunda kırılma orta kısımda olursa aşağıdaki formül kullanılır;

$$\text{MoR} = f_{bl} = (Pl/bd^2)$$

P=kırılma kuvveti; l = toplam mesafe; d = kiriş derinliği; b = kiriş genişliği

– Eğer kırılma orta kısım dışında olursa deney iptal edilir.

Basınç Mukavemeti Soruları

Numune boyutu (mm)	Kırılma kuvveti (kN)	hesaplamalar	Basınç mukavemeti (MPa)
küp (100x100x100)	300	$300\ 000/100 \times 100$	30.00
küp (150x150x150)	560	$560\ 000/150 \times 150$	24.88
silindir (100x200)	730	$4 \times 730\ 000/3.14 \times 100 \times 100$	93.00
silindir (150x300)	850	$4 \times 850\ 000/3.14 \times 150 \times 150$	48.00

Basmada yarma dayanımı problemleri

Deney türü	numune (mm)	Kırılma kuvveti (kN)	hesaplamalar	Basmada yarma dayanımı (MPa)
Normal	küp 100	150	$0.642 \times 150\ 000 / 100 \times 100$	9.63
Normal	küp 150	185	$0.642 \times 185\ 000 / 150 \times 150$	5.27
çapraz	küp 150	250	$0.519 \times 250\ 000 / 150 \times 150$	5.76
normal	Sindr. 150x300	375	$2 \times 375\ 000 / 3.14 \times 300 \times 150$	5.30

Sorular

1. 150 mm küp bir numune düşey basınç yükü altında 28 günde kırılmış ve bu yük 778 kN olarak ölçülmüştür. Bu numunenin basınç mukavemeti dayanımının ne olduğunu MPa olarak bulunuz.
2. 200 mm küp bir numunenin 28 günlük basınç mukavemeti deneyindeki kırılma kuvvetinin 641 kN olduğu bulunmuştur. Aynı betondan yapılmış olan silindir (150x300 mm) numunenin aynı yaşta olma şartı ile kırılma kuvveti ne olabilir?
3. Üç adet 150 mm boyutundaki küp numune (aynı betondan) basınç dayanımı deneyine tabii tutulmuş ve sırasıyla 560 kN, 570 kN and 558 kN kırılma kuvvetleri elde edilmiştir. (a) Bu numunelerin ortalama basınç dayanımları nedir? (b) Eğer basmada yarma dayanımının basınç dayanımının %15'i olduğu kabul edilirse, basmada yarma kırılma kuvveti bu beton için ne olabilir?
4. Bir kiriş üzerinde yapılan deneyde çekmede kırılma kuvveti 17500 N olarak belirlenmiştir. Çekme dayanımının ne kadar olduğunu bulunuz ($b=150\text{mm}$, $d'=150\text{ mm}$, $L=500\text{ mm}$ ($d=100\text{ mm}$)).

ÇÖZÜMLER

SORU 1:

150 mm küp bir numune düşey basınç yükü altında 28 günde kırılmış ve bu yük 778 kN olarak ölçülmüştür. Bu numunenin basınç mukavemeti dayanımının ne olduğunu MPa olarak bulunuz.

$$150 \text{ mm küp basınç mukavemeti} = (778 \times 1000 \text{ N}) / (150 \times 150) \text{ mm}^2$$

$$150 \text{ mm küp basınç mukavemeti} = 34.58 \text{ N/mm}^2$$

SORU 2

200 mm küp bir numunenin 28 günlük basınç mukavemeti deneyindeki kırılma kuvvetinin 641 kN olduğu bulunmuştur. Aynı betondan yapılmış olan silindir (150x300 mm) numunenin aynı yaşta olma şartı ile kırılma kuvveti ne olabilir?

$$200 \text{ mm küp basınç mukavemeti} = (641 \times 1000 \text{ N}) / (200 \times 200 \text{ mm}^2) = 16.03 \text{ N/mm}^2$$

Silindir numunenin basınç mukavemetini bulmak için aşağıdaki çevirim tablosunu kullanmamız gerekir.

$$\text{Silindir basınç mukavemeti} = \text{küp basınç mukavemeti} / 1.15 = 16.03 / 1.15 = 13.93 \text{ N/mm}^2$$
$$= (\text{silindir kırılma kuvveti}) / (\text{silindir yüzey alanı})$$

$$\text{Böylece; silindir kırılma kuvveti} = 13.93 \times (3.14 \times 150^2 / 4) = 246038 \text{ N} = 246 \text{ kN}$$

	böl			
	100 mm küp	150 mm küp	200 mm küp	150x300 mm silindir
100 mm küp	1	1.01	1.05	1.22
150 mm küp	-	1.00	1.04	1.20
200 mm küp	-	-	1.00	1.15
100x200 mm silindir	-	-	-	1.06

SORU 3

Üç adet 150 mm boyutundaki küp numune (aynı betondan) basınç dayanımı deneyine tabii tutulmuş ve sırasıyla 560 kN, 570 kN and 558 kN kırılma kuvvetleri elde edilmiştir. (a) Bu numunelerin ortalama basınç dayanımları nedir? (b) Eğer basmada yarma dayanımının basınç dayanımının %15'i olduğu kabul edilirse, basmada yarma kırılma kuvveti bu beton için ne olabilir?

- Küp ortalama basınç dayanımı= $[(560+570+558)/3] \times 1000 \text{ N} / [150 \times 150 \text{ mm}^2] = 25 \text{ N/mm}^2$
 - $\sigma_{sp} = 0.642 P/s^2$ a dayanımı = $15\% \times 25 \text{ N/mm}^2 = 3.75 \text{ N/mm}^2$
 - Basmada yarma kırılma kuvvetini bulmak için aşağıdaki formül kullanılabilir:
 - $3.75 = 0.642 P / 150^2$ (Buradan P çekilip hesaplanabilir)
- $$P = 3.75 \times 150^2 / 0.642 = 131\,425 \text{ N} = 131 \text{ kN}$$

Toplam 34

Cevap: P=131³³ kN

SORU 4

Bir kiriş üzerinde yapılan deneyde çekmede kırılma kuvveti 17500 N olarak belirlenmiştir. Çekme dayanımının ne kadar olduğunu bulunuz (b=150mm, d'=150 mm, L=500 mm (d=100 mm)).

- Aşağıdaki formül ile çekme dayanımı bulunabilir.

$$\text{MoR} = f_{bl} = (P l / b d^2)$$

- (çekme dayanımı) $\text{MoR} = (17500 \times 3 \times 100) / (150 \times 150^2) = 1.56 \text{ N/mm}^2$