

TARİHİ YAPILARDA MALZEME ÖZELLİKLERİ

MALZEMELERİN GENEL ÖZELLİKLERİ

Prof.Dr.Nabi YÜZER

Doç.Dr. Dilek EKŞİ AKBULUT

TARİHİ YAPILARDA MALZEME ÖZELLİKLERİ

YAPI MALZEMELERİNİN GENEL ÖZELLİKLERİ:

- 1. Fiziksel Özellikler**
- 2. Mekanik Özellikler**
- 3. Kimyasal Özellikler**

TARİHİ YAPILARDA MALZEME ÖZELLİKLERİ

1. Fiziksel Özellikler

Tüm katı cisimlerde olduğu gibi yapı malzemelerinde de temel fiziksel büyüklükler, ağırlık, hacim, yoğunluk, spesifik ağırlık, geçirimsilik, renk gibi özelliklerdir.

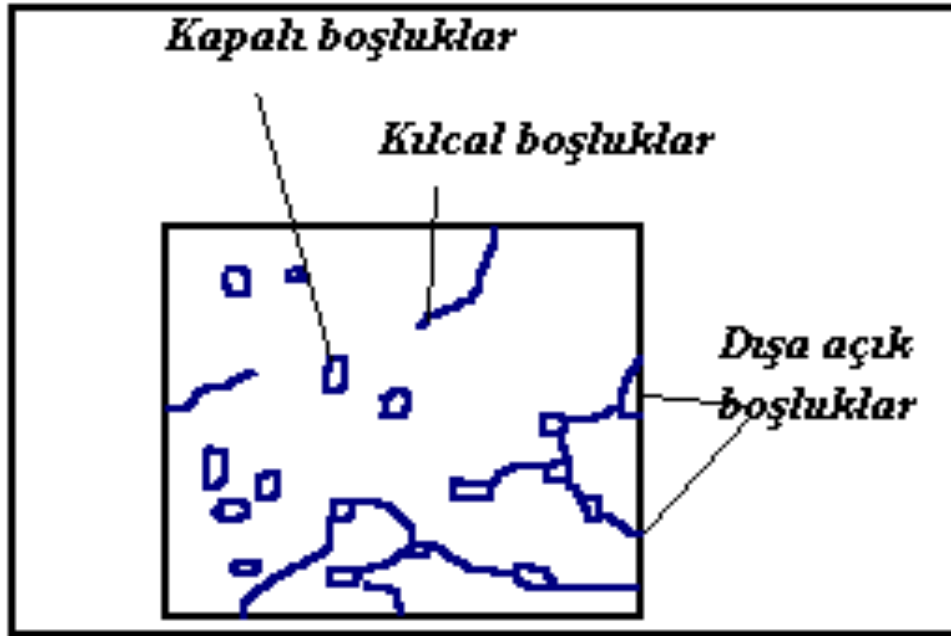
Cam ve metaller dışındaki tüm yapı malzemeleri az yada çok boşluk içerir; su ve buharı geçirir, su ve buhardan etkilenirler.

Doğal taş, tuğla, harç gibi yapı malzemelerindeki boşluk parametrelerinin bilinmesi, malzemelerin tanınmasında ve seçiminde çok önemlidir.

TARİHİ YAPILARDA MALZEME ÖZELLİKLERİ

Gözenekli malzemelerdeki boşluk oranı (porozite) ve özgül yüzey gibi boşluk parametrelerinin doğrudan veya dolaylı ölçüm ve deneyler ile belirlenmesi mümkündür.

Boşluk özelliği denilince boşlukların oranı, boyutu, dışa açık veya kapalı olması ve birbirileri ile ilişkileri anlaşılır.



Şekil : Gözenekli Malzemelerde Boşluklar

TARİHİ YAPILARDA MALZEME ÖZELLİKLERİ

Boşlukların katı ortam içindeki dağılımı,

- Düzenli veya düzensiz,
- Birbiri ile bağlantılı veya bağlantısız,
- Dışa açık veya kapalı olabilir.

Gözenekli cisimlerin fiziksel büyüklükleri olan;

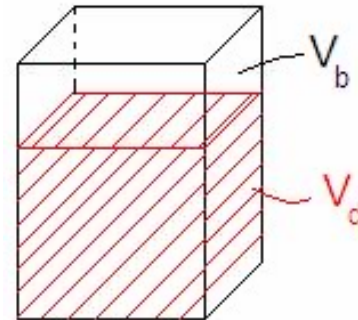
- Cismin birim ağırlığı; yoğunluk (β),
- Dolu kısmın birim ağırlığı; özgül ağırlık (g),
- Doluluk oranı; kompasite (k),
- Toplam boşlukların oranı; porozite (p),
 - Boşlukların dışa açık olanları, hacimce suemme (h_s),
 - Kılcal boşluklar ise kapiler suemme (K)
 - Boşluk iç yüzeylerinin toplam alanı; özgül yüzey (Σ) ile temsil edilir.

TARİHİ YAPILARDA MALZEME ÖZELLİKLERİ

a) Yoğunluk

Boşluklu birim hacim ağırlık olarak da adlandırılan yoğunluk (β), numunenin deneysel olarak belirlenen etüv kuru ağırlığı (W_0) numunenin toplam (V_t) hacmine oranıdır. Malzemelerin yoğunluğu ile dayanımı ve ısı iletim özelliği arasında belirli bir ilişki vardır.

$$\beta = \frac{W_0}{V_t}$$



$$V_t = V_d + V_b$$

TARİHİ YAPILARDA MALZEME ÖZELLİKLERİ

b) Özgül Ağırlık

Gözenekli malzemelerin özgül ağırlığı (γ), bir başka deyişle boşluksuz birim hacim ağırlığı, toz haline getirilen malzemenin etüv kurusu ağırlığının (w_0), toz numunenin Arşimet Prensibinden yararlanılarak belirlenen hacmine (v_0) oranıdır. Malzemelerin özgül ağırlığı, katı fazı oluşturan maddelerin özelliğine bağlıdır.

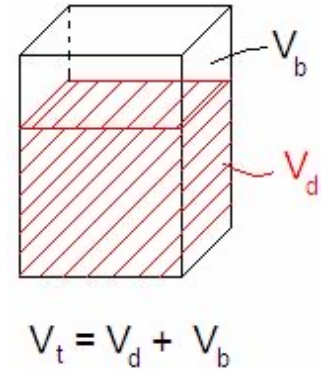
$$\gamma = \frac{w_0}{v_0}$$

TARİHİ YAPILARDA MALZEME ÖZELLİKLERİ

c) Komposite

Gözeneklerin bulunmadığı dolu kısmın hacminin (V_d) malzemenin toplam hacmine (V_t) oranı, doluluk oranı (*komposite*, % k) olarak tanımlanır ve boşluklu birim hacmin (β) boşluksuz birim hacme (γ) oranı ile belirlenir.

$$k\% = \frac{V_d}{V_t} = \frac{\beta}{\gamma}$$



TARİHİ YAPILARDA MALZEME ÖZELLİKLERİ

d) Porozite

Toplam boşluk oranını ifade eden *porozite* (%p), toplam boşluk hacminin malzemenin kaba hacmine oranıdır.

Porozite, gaz genişmesi yöntemi, civa enjeksiyonu yöntemi, yoğunluk yöntemleri, su emme yöntemi gibi farklı deneysel yöntemlerle veya istatistiksel olarak belirlenir.

Toplam porozite (%p), tüm boşlukları, etkin porozite (%p_e) ise dışa açık ve birbiri ile ilişkili, sürekli yani akışkan akışının gerçekleştiği boşlukları ifade eder.

$$\%p = \frac{V_b}{V_t} = 1 - k$$

TARİHİ YAPILARDA MALZEME ÖZELLİKLERİ

e) Hacimce Su Emme (Etkin Porozite)

Su emen (dışa açık) boşlukların hacminin, cismin toplam hacmine oranıdır.

$$p_e = \frac{W_{SH} - W_0}{W_{SH} - W_{SS}}$$

TARİHİ YAPILARDA MALZEME ÖZELLİKLERİ

f) Doyma Derecesi

Etkin porozitenin mutlak poroziteye oranı *satürasyon* (doyma derecesi, % D_d) olarak tanımlanır ve özellikle donma-çözülme etkisinde kalan malzemelerde dayanıklılığın önemli bir ölçüsü olarak kabul edilir. %80'ten küçük olması istenir.

$$\% D_d = \frac{p_e}{p}$$

TARİHİ YAPILARDA MALZEME ÖZELLİKLERİ

g) İç Özgül Yüzey (Σ)

Birim hacimdeki gözeneklerin iç yüzeylerinin toplamıdır. Boşlukların toplam iç yüzey alanının (F_b), numunenin toplam hacmine oranı (V_t) olarak ifade edilir, cm^2/cm^3 boyutundadır.

$$\Sigma = \frac{\sum_{i=1}^n F_{bi}}{V_t}$$

İnce yapıli maddelerin, kaba olanlardan çok daha büyük özgöl yüzeye sahip olmaları doğaldır.

Özgöl yüzeyin belirlenmesinde azot adsorpsiyonu ve su buharı gibi akışkan akışına dayanan deneysel yöntemlerden ve istatistiksel yöntemlerden yararlanılır.

TARİHİ YAPILARDA MALZEME ÖZELLİKLERİ

Özgül Yüzeyin Belirlenmesi:

İstatistiksel Yöntem (Chalky, Cornfield ve Park)

- Gözenekli cisimlerden kesit alınır, yüzey temizlenir ve renklendirilir.
- Bu yüzeyin negatifi kağıda alınır.
- Bu kağıdın belirli büyütme ile mikroskop altında fotoğrafı çekilir.
- Fotoğrafın üzerine l boyunda bir iğne bir çok defalar bırakılır.
- İğnenin gözeneklerin içine ve çevresine (dolu kısım) düşme sayıları izlenir.
- Olasılık teorisine dayanan denklem ile Σ hesaplanır.

$$\Sigma = \frac{4.p.\zeta}{l.h}.m$$

l: iğne boyu

h: boşluk içine düşme sayısı

ζ : çevreye düşme sayısı

m: fotoğrafın büyütme oranı

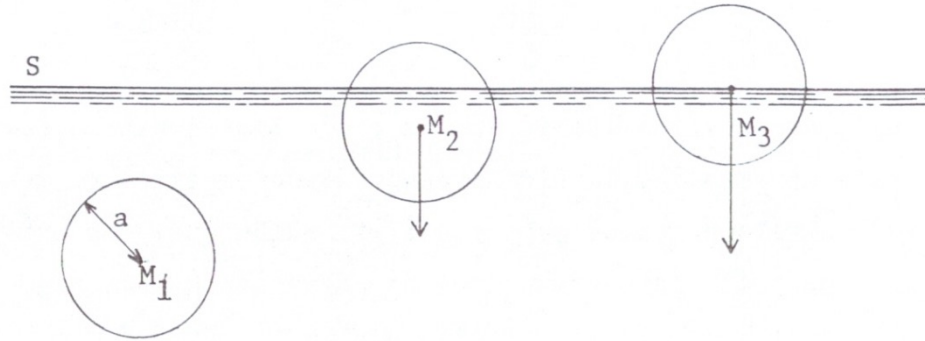
p: porozite

Σ : özgül yüzey

TARİHİ YAPILARDA MALZEME ÖZELLİKLERİ

KILCAL SU EMME

Sıvının Serbest Yüzey Enerjisi ve Yüzey Gerilimi



- Sıvı molekülleri aralarındaki uzaklığa bağlı olarak birbirlerini iter veya çekerler.
- Sıvı içindeki molekülleri üst yüzeye getirmek için bir enerji harcamak gerekir.
- Sıvının serbest yüzeyini birim alan artırmak için harcanan enerjiye **serbest yüzey enerjisi** denir, birimi erg/cm^2 'dir

TARİHİ YAPILARDA MALZEME ÖZELLİKLERİ

Yüzey Gerilimi

Sıvı bu artmaya karşı bir direnç gösterir, buna **yüzey gerilimi** denir. Yüzey gerilimi sıvı yüzeyinin birim boyuna normal ve yüzeye paralel yönde etkiyen kuvvet olarak tarif edilir, birimi dyn/cm 'dir.

Yüzey gerilimi nümerik olarak yüzey enerjisine eşittir. Yüzey gerilimi (γ) her sıvı için değişik değerler alır. Sıvının sıcaklığı arttıkça γ 'nın değeri azalır. Suyun yüzey gerilimi 20°C 'de $72,75 \text{ dyn/cm}$ 'dir.

$$1 \text{ dyn} = 10^{-5} \text{ N}$$



TARİHİ YAPILARDA MALZEME ÖZELLİKLERİ

Bir Katıya Değen İki Akışkanın Dengesi 1

Bu akışkanlardan birinin sıvı diğerinin hava olması durumunda, üç ortamın ortak çizgilerinin birim boyuna T_{KH} , T_{KS} ve T_{SH} yüzey gerilim kuvvetleri etki eder. Katı yüzeyine paralel bir hareketin meydana gelmemesi için bu kuvvetlerin bu yöndeki izdüşümleri sıfır olmalıdır.

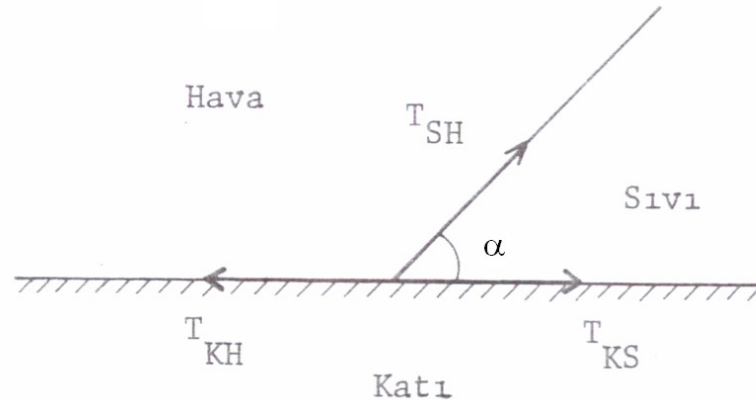
$$T_{KH} = T_{KS} + T_{SH} \cdot \cos \alpha$$

$$\cos \alpha = \frac{T_{KH} - T_{KS}}{T_{SH}}$$

T_{KH} : Katı ile hava arasındaki kuvvet

T_{KS} : Katı ile sıvı arasındaki kuvvet

T_{SH} : Sıvı ile hava arasındaki kuvvet

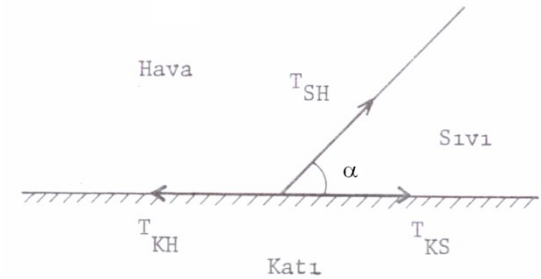


TARİHİ YAPILARDA MALZEME ÖZELLİKLERİ

Bir Katıya Değen İki Akışkanın Dengesi 2

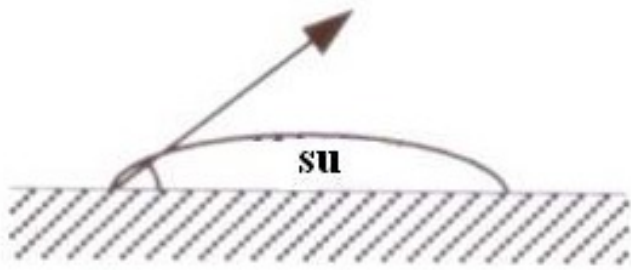
$$T_{KH} = T_{KS} + T_{SH} \cdot \cos \alpha$$

$$\cos \alpha = \frac{T_{KH} - T_{KS}}{T_{SH}}$$

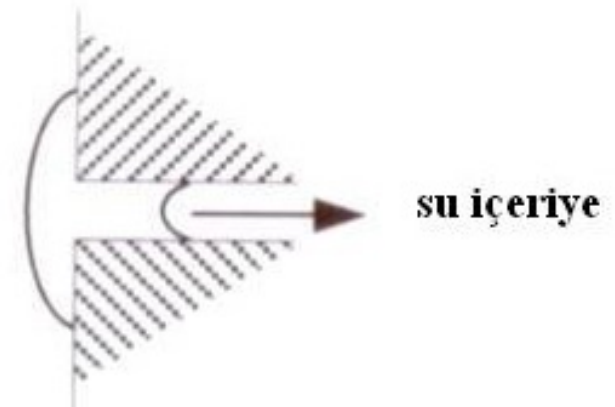


$$a) \quad 0 < \alpha < 90^\circ \longrightarrow \cos \alpha > 0 \longrightarrow T_{KH} > T_{KS}$$

sıvı katıyı “İSLATİYOR” (Sıvı, katı yüzeyinde yayılma eğiliminde)



(a)

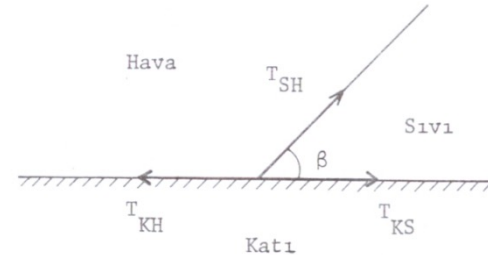


TARİHİ YAPILARDA MALZEME ÖZELLİKLERİ

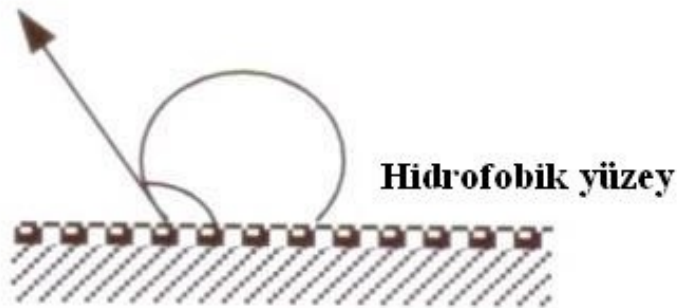
Bir Katıya Değen İki Akışkanın Dengesi 3

$$T_{KH} = T_{KS} + T_{SH} \cdot \cos \alpha$$

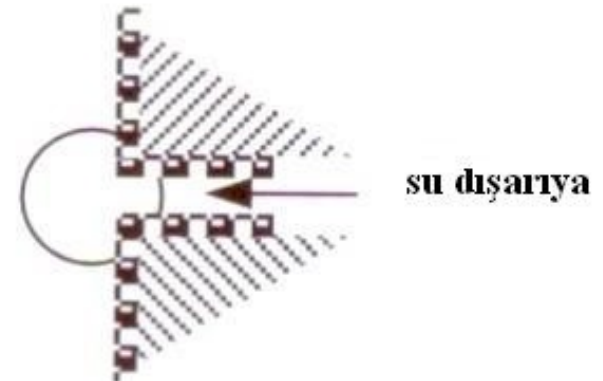
$$Cos\alpha = \frac{T_{KH} - T_{KS}}{T_{SH}}$$



b) $90 < \alpha < 180^\circ \longrightarrow \cos \alpha < 0 \longrightarrow T_{KH} < T_{KS}$
 sıvı katıyı "ISLATMIYOR"



(b)



TARİHİ YAPILARDA MALZEME ÖZELLİKLERİ

Kılcal Basınç

İki akışkanın ayrılık yüzeyinin eğrisel olması halinde, dış bükey tarafından iç bükey tarafına doğru geçilirken daima bir basınç artması meydana gelir. Bu basınç artımına “kılcal basınç” denir.

$$P_c = T \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}$$

P_c : Kılcal basınç
 T : Yüzey gerilimi
 r : eğrilik yarıçapı

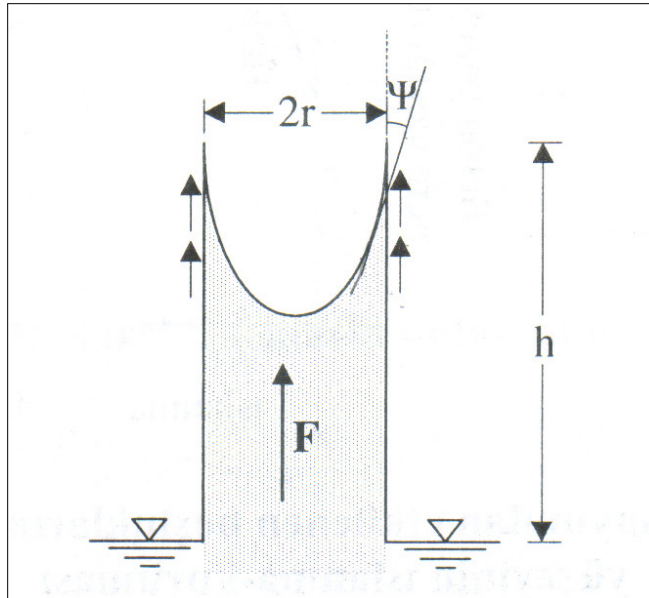
Bu bağıntıya Laplace formülü denir. İki akışkanın ayrılık yüzeyi küre olursa basınç artımı:

$$P_c = \frac{2T}{r}$$

TARİHİ YAPILARDA MALZEME ÖZELLİKLERİ

Kılcal Borularda Yükselme 1

Sıvıya kılcal bir boru daldırdığımızda sıvı, yüzey geriliminin etkisi ile yerçekimine rağmen boru içinde yükselir. Yüzey geriliminden doğan ve kapiler emme etkisine neden olan kılcal basınç, kılcal boşluklarda yükselen sıvının ağırlığına eşit olunca denge sağlanır.



r : kılcal borunu yarıçapı
 ψ : Birleşme açısı (sıvı yüzeyinin katı cisim yüzeyi ile yaptığı ıslatma açısıdır)
 P_c : Kılcal basınç kuvveti
 γ : Yüzey gerilimi

Sıvının yükselmesini sağlayan kılcal basınç kuvveti

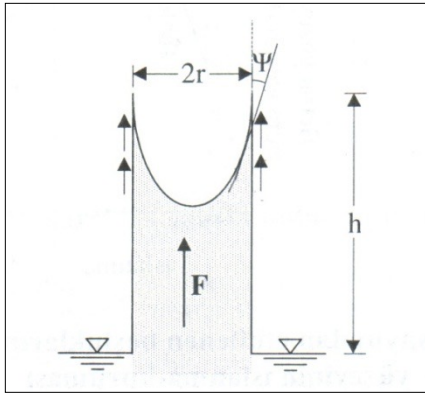
$$P_c = 2\pi r \gamma \cos \psi$$

TARİHİ YAPILARDA MALZEME ÖZELLİKLERİ

Kılcal Borularda Yükselme 2

Kılcal basınç, kılcal boşluklarda yükselen sıvının ağırlığına eşit olunca denge sağlanır.

$$2 \cdot \pi \cdot r \cdot \gamma \cdot \cos \psi = \pi \cdot r^2 \cdot h_{\max} \cdot \rho \cdot g$$



$$h_{\max} = \frac{2\gamma \cos \psi}{r \cdot \rho \cdot g}$$

r : kılcal borunu yarıçapı

ψ : Birleşme açısı (sıvı yüzeyinin katı cisim yüzeyi ile yaptığı ıslatma açısıdır)

γ : Yüzey gerilimi

ρ : Sıvının yoğunluğu

h : Sıvının yüksekliği

g : yerçekimi ivmesi

Sıvının yükselebileceği maksimum yükseklik ($h_{\max}$), kılcal borunun yarıçapından etkilenmektedir (h ile r ters orantılıdır). Boru çapı küçüldükçe sıvı boru içinde yüzey gerilimi nedeni ile yerçekimi ivmesinin tersi yönünde yükselir.

TARİHİ YAPILARDA MALZEME ÖZELLİKLERİ

Kılcal Su Emmenin Zamanla Değişimi

Suyun kılcal boşluklarda, yüzey gerilimi nedeni ile yükselmesi özelliğine kılcal geçirimsizlik (kapilarite) denir. Zamanla artan bu yükselişin en genel hali:

$$h = c.\sqrt{t}$$

h : suyun boru içinde yükselmesi

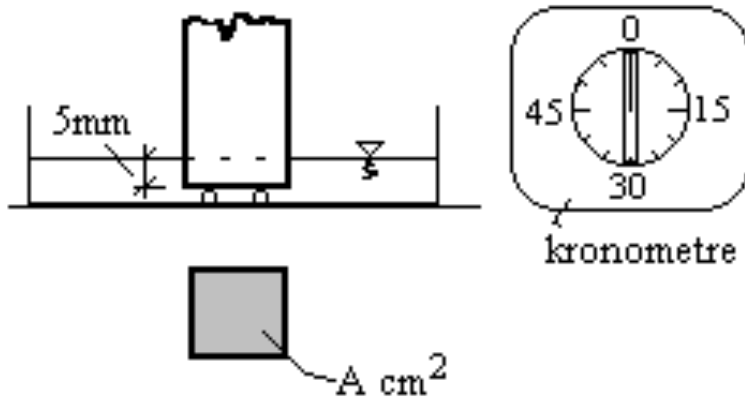
t : deney başlangıcından itibaren geçen zaman

c: orantılılık sabiti (Sıvının yüzey gerilimine, birleşme açısına ve viskozitesine bağlı katsayı)

TARİHİ YAPILARDA MALZEME ÖZELLİKLERİ

Kılcal Su Emmenin Deneysel Olarak Belirlenmesi 1

Bu ortamda akış özelliğini tanımlayan kapilarite katsayısı (K), su ile temas eden yüzeyin ve zamanın fonksiyonu olarak deney yapılarak belirlenir.



Numune: Kesit A (cm²)

Ağırlık W₀(g)

t₀ anında W₀

t₁ anında W₁

t₂ anında W₂

.....

t_n anında W_n

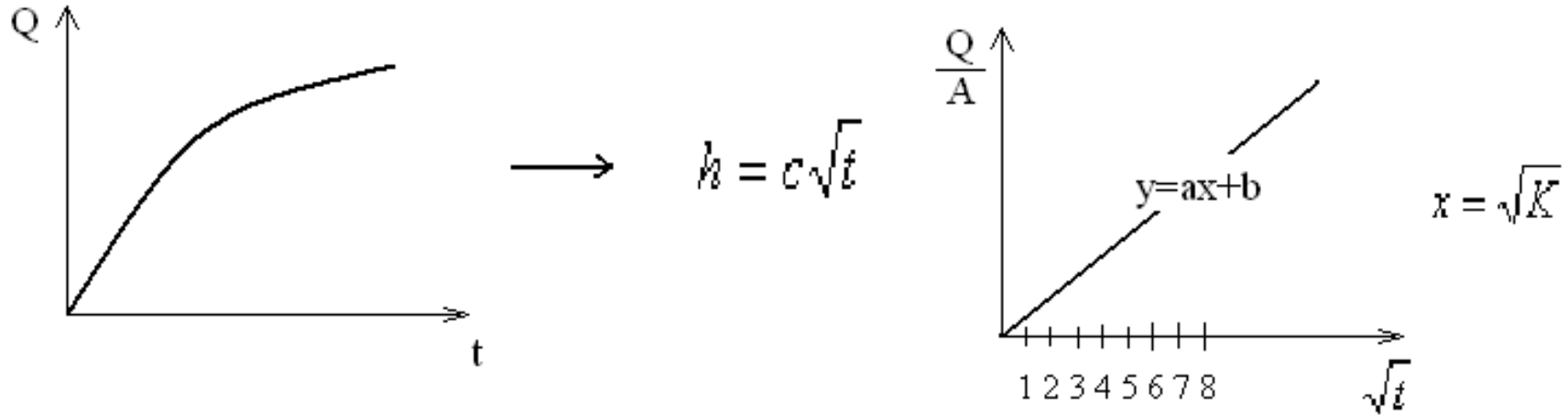
$$Q_1 = W_1 - W_0$$

$$Q_2 = W_2 - W_0$$

$$Q_n = W_n - W_0$$

TARİHİ YAPILARDA MALZEME ÖZELLİKLERİ

Kılcal Su Emmenin Deneysel Olarak Belirlenmesi 2



$$\sqrt{K} = \frac{Q}{F \cdot \sqrt{t}}$$

Kapilarite Katsayısı :

$$K = \frac{Q^2}{F^2 \cdot t} \cdot \left(\frac{cm^2}{s} \right)$$

Suyun kılcal yolla yükselme zamanı :

$$t = \frac{Q_{\max}^2}{K} = \frac{(H.\%h_s)^2}{K}$$

TARİHİ YAPILARDA MALZEME ÖZELLİKLERİ

Yüzeyinden su ile temas eden elemanlarda, özellikle temellerde harç üretiminde kirece inceliği yüksek, inorganik kökenli, puzolan malzemeler katılmıştır.

TARİHİ YAPILARDA MALZEME ÖZELLİKLERİ

2. Mekanik Özellikler

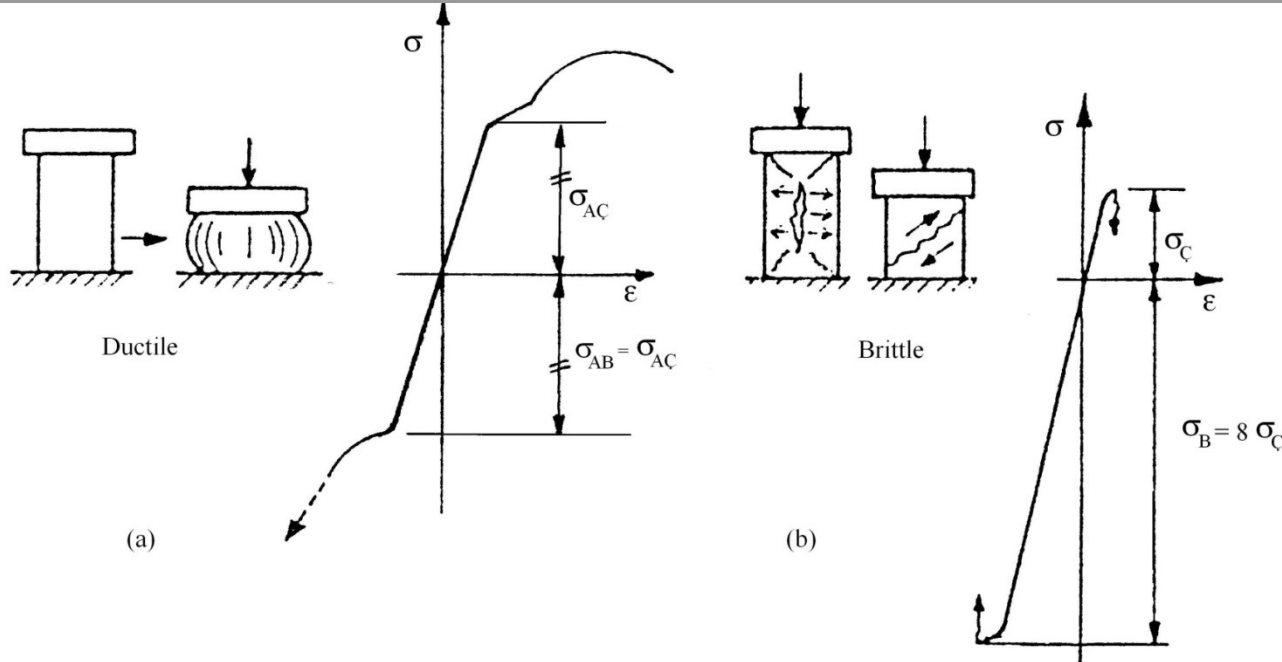
Cisimlerin etki eden kuvvete karşı gösterdikleri tepki, kısaca mekanik özellikler olarak tanımlanabilir. Deney ve ölçümler ile belirlenen mekanik özelliklerin en temel büyüklükleri aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Kuvvet (F , N),
- Deplasman (Δl , mm),
- Gerilme (σ , MPa),
 - Basınç gerilmesi,
 - Çekme Gerilmesi,
 - Kayma Gerilmesi,
- Şekil değiştirme (ϵl , mm/mm),
- Dayanım (f_c , MPa),
- Kopma uzama oranı (ϵ_k , mm/mm)
- Elastisite Modülü (E , MPa),
- Kayma Modülü (G , MPa)

TARİHİ YAPILARDA MALZEME ÖZELLİKLERİ

Sünek malzemeler çekme ve basınç etkisinde aynı davranışı gösterirler. Bu malzemelerin mekanik özelliklerini belirlemek için çekme deneyi yapmak yeterlidir.

Doğal taş, tuğla, harç ve beton gibi gevrek malzemeler için basınç deneyi yapılır, doğrudan çekme deneyi yapmak zordur. Çekme dayanımı eğilme ve/veya yarma deneyleri ile dolaylı olarak belirlenir.



TARİHİ YAPILARDA MALZEME ÖZELLİKLERİ

Çekme Deneyi



Çekme dayanımı (f_t , MPa), çekme deneyi ile belirlenen maksimum yükün (P_k), numunenin kesit alanına (F , mm²) bölünmesi ile elde edilir.

$$f_t = P_k / F$$

TARİHİ YAPILARDA MALZEME ÖZELLİKLERİ

Basınç Dayanımı



Basınç dayanımı (f_c , MPa), basınç deneyi ile belirlenen maksimum yükün (P_k , N) yüzey alanına (F , mm²) bölünmesi ile elde edilir.

$$f_c = \frac{P_k}{A}$$

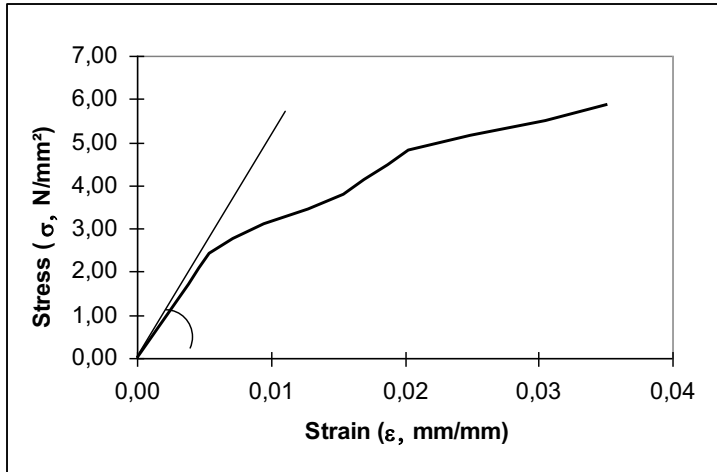
f_c = Basınç dayanımı (N/mm²)

P_k = Maksimum yük(kN)

A = Alan (mm²)

TARİHİ YAPILARDA MALZEME ÖZELLİKLERİ

Elastisite Modülü



Gerilme-şekil değiştirme eğrisi

Deney süresince boy değişimi (Δl_i , mm) kaydedilir;

Gerilme (σ_i , MPa) ve deformasyonlar (ϵ_i , mm/mm) hesaplanır;

$$\sigma_i = P_i / F_i$$

$$\epsilon_i = \Delta l_i / L$$

- Gerilme-şekil değiştirme eğrisi (σ_i - ϵ_i) çizilir,
- Eğrinin lineer bölgesinden elastisite modülü (E, MPa) hesaplanır.

TARİHİ YAPILARDA MALZEME ÖZELLİKLERİ

Eğilme Dayanımı



$$f_e = \frac{M_{\max}}{W} = \frac{\frac{P.L}{4}}{\frac{bh^2}{6}}$$

- f_b : Eğilme dayanımı (MPa)
 P_k : Maksimum yük (kN)
 L : Mesnetler arası mesafe mm)
 b, h : Numunenin kesiti (mm)

TARİHİ YAPILARDA MALZEME ÖZELLİKLERİ

Yarma Dayanımı



$$f_{st} = \frac{2.P_k}{\pi.L.d}$$

- f_{st} : Yarma dayanımı (MPa)
 P_k : Maksimum yük (kN)
 L : Numunenin uzunluğu (mm)
 d : Numunenin çapı (mm)

TARİHİ YAPILARDA MALZEME ÖZELLİKLERİ

3. Kimyasal Özellikler :

Maddeleri birbirinden ayırt etmek için en iyi rehber kimyasal özelliklerdir.

A) Seramikler

Metal ve metal olmayan elementlerin **iyon bağlar** ile bağlanarak oluşturdukları inorganik malzemelerdir (Cam, taş, tuğla,...).

B) Metaller

Metal bağlar ile bağlanıp, serbest elektronları ile ısıyı ve elektriği iyi ileten malzemelerdir (Demir, Alüminyum...).

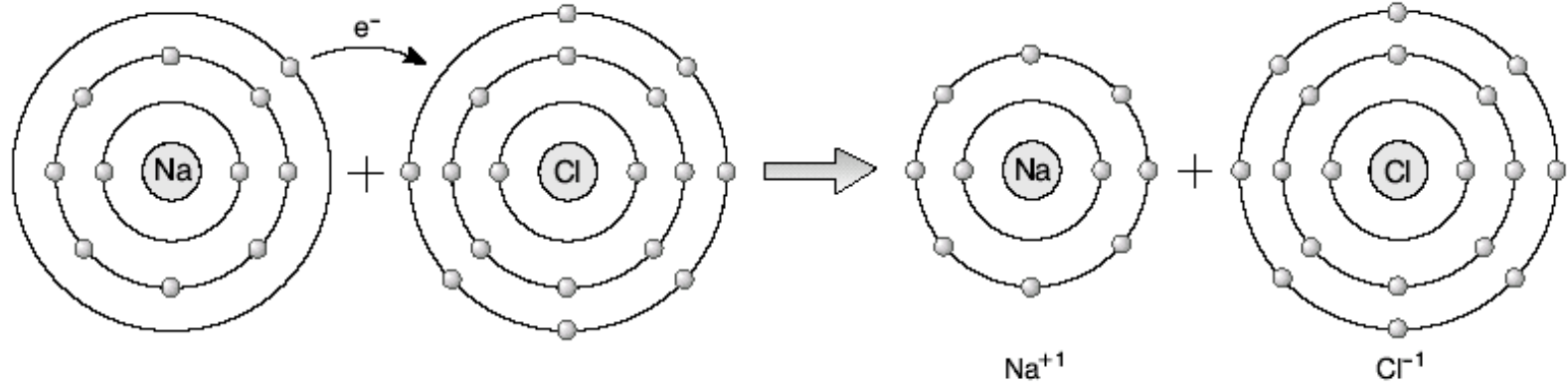
C) Polimerler

Kovalent bağlar ile bağlanıp elektronları ortaklaşa kullanan, zincir şeklinde moleküllerden oluşan organik veya sentetik malzemelerdir (Bitüm, Ahşap...).

TARİHİ YAPILARDA MALZEME ÖZELLİKLERİ

A) İyonsal Bağ

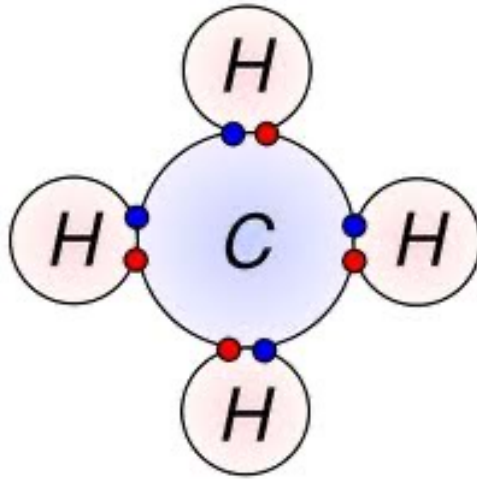
Artı yüklü iyonla eksi yüklü arasındaki Coulomb çekme kuvvetlerinden doğar. İyonsal bağlar küresel nitelikte olduklarından yönsüzdür. En çok rastlanan iyonsal bağ bir metal atomundan diğer metal olmayan bir atoma elektron transferi sonucu oluşur (NaCl'de olduğu gibi)



TARİHİ YAPILARDA MALZEME ÖZELLİKLERİ

A) Kovalan Bağ

Bazı atomlar bir veya daha fazla elektronu komşuları ile paylaşabilirler. Paylaşılan eksi yüklü elektronla artı yüklü ana atomun çekirdekleri arasında çekme kuvvetleri kovalan bağı oluşturur.

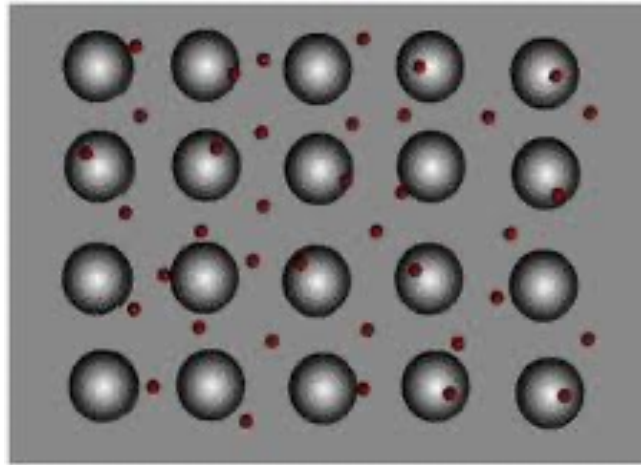


TARİHİ YAPILARDA MALZEME ÖZELLİKLERİ

A) Metal Bağ

Metallerde valans elektron sayısı azdır, ana atomlara zayıf bağlı bu elektronlar kolayca ayrılarak kütle içinde sürekli olarak hareket halinde bulunurlar.

Böylece hareketli elektronlar adeta bir elektron bulutu oluşturur. Negatif yüklü elektronların oluşturduğu elektron bulutu, metal iyonlarını bir arada tutar. Bu elektron bulutu ile, pozitif metal iyonları arasında elektrostatik çekim oluşur.



TARİHİ YAPILARDA MALZEME ÖZELLİKLERİ

Malzemeler	Atomlararası Bağ Türü	Isı İletimi	Elektr. İletimi	Mek. Davranış	Optik Özellikler	Birim Ağırlığı
Seramikler	İyon bağ	Düşük (Yalıtkan)	Düşük (Yalıtkan)	Sert ve Gevrek	Saydam/Yarı saydam/opak	Orta ($g_{\text{met}} > g > g_{\text{ser}}$)
Metaller	Metal bağ	Yüksek	Yüksek	Plastik Ş.Değ.	Opak Reflektör	Yüksek* ($g > 7 \text{ g/cm}^3$)
Polimerler	Kovalent bağ	Düşük	Düşük (Yalıtkan)	Sünek/ Gevrek	Saydam olabilir Işığı yansıtmazlar	Düşük ($g < 2,2 \text{ g/cm}^3$)

* Al ve Mg hariç