

ÇİMENTO



**ÇİMENTO** : Killi ve kalkerli kütlelerin belirli oranlarda karıştırılıp öğütülmesiyle oluşan farinin en az sinterleşme sıcaklığına kadar ısıtılarak pişirilmesi ve oluşan klinkerin alçı taşıyla birlikte öğütülmesiyle birlikte elde edilen çimento standartlarına uygun hidrolik bağlayıcı maddedir.

**ÇİMENTONUN HAMMADDESİ** : Killi ve kalkerli maddelerdir. Kil gerekli olan  $\text{SiO}_2$  bileşenini temin eder. Az miktarda  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ve  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  bulundurulur.

**KALKERLİ KÜTLE** : Kireç taşı ( $\text{CaCO}_3$ ) ,  $\text{CaO}$  ,  $\text{MgO}$  , marn ,istiridye kabuğu kullanılabilir.

**FARİN** : Öğütülmüş çimento ham karışımıdır. Farinden klinker üretimi bir katı faz reaksiyonudur

**SİNERLEŞME** : Hammadde taneciklerinin, tam eritilmeden yüzeyde ince bir sıvı tabakası oluşuncaya kadar ısıtılması işlemidir.

**KLİNKER** : Farinin 1400-1500 °C de pişirilmesiyle oluşan maddeye klinker denir.

**HİDROLİK BAĞLAYICI MADDE** : Havada ve su altında sertleşen ve sertleştikten sonra suda çözünmeyen bağlayıcı maddelere hidrolik bağlayıcı madde denir.

# ÇİMENTO ÜRETİMİ

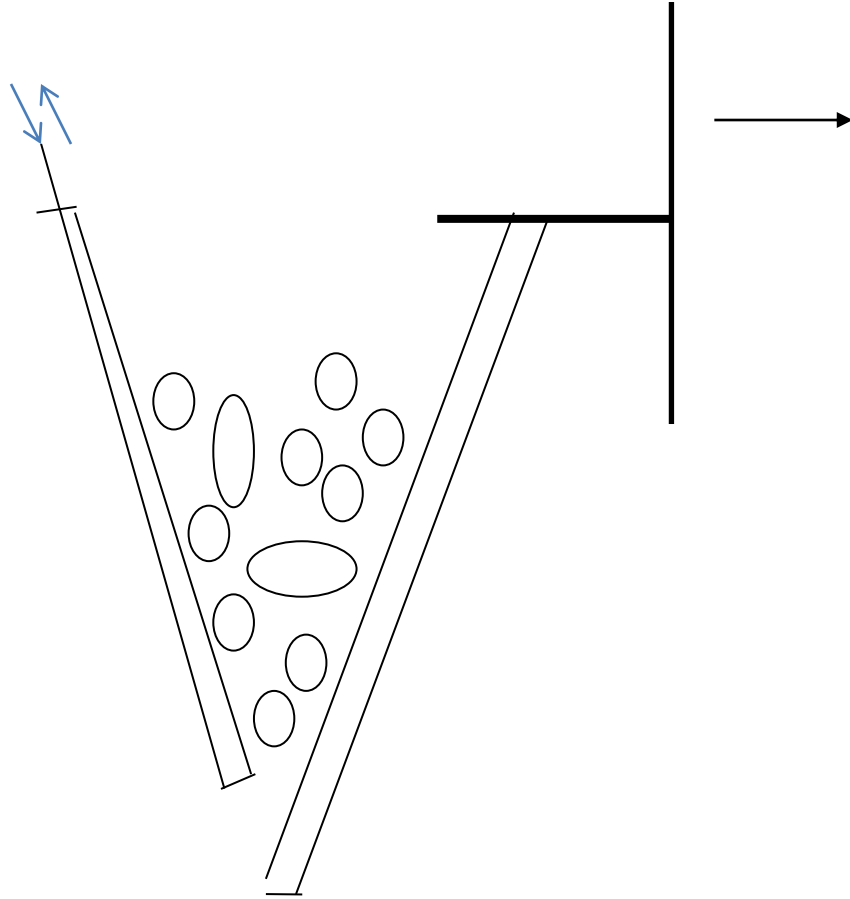
Dört kademedede üretim gerçekleşir.

## 1-) ÇİMENTO HAM KARIŞIMININ HAZIRLANMASI :

Ana hammaddeler kalker ve kildir. En çok kalker kullanıldığından çimento fabrikaları kalker yataklarına yakın kurulur.

Kalker oldukça sert bir maddedir ve kırılması öğütülmesi gereklidir. Bu nedenle çimento fabrikalarında kırıcı ve öğütücü üniteler bulunur.

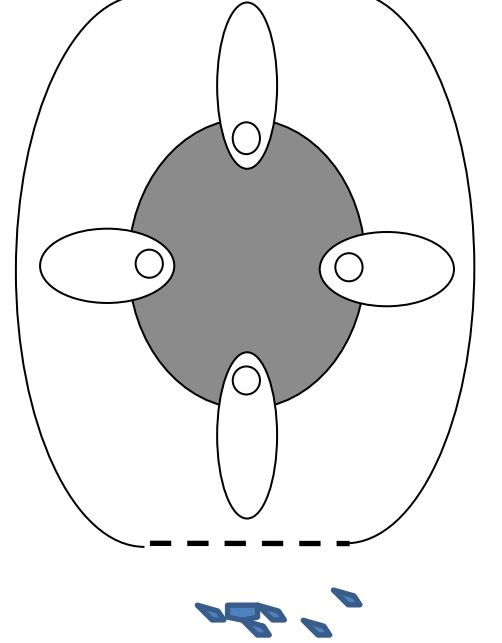
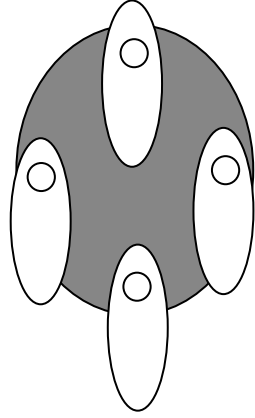
a-) Çeneli Kırıcılar : Çok sert ve çelikten yapılmış çeneli kırıcılarda bir taraf sabit dururken diğer taraf elektrikli motora bağlanmış hareketli bir kırıcı şeklindedir.



ÇENELİ KIRICI

## b-) Çekiçli Kırıcılar : Oldukça sert

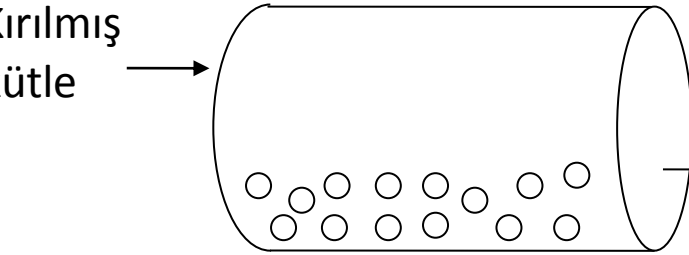
malzemedan yapılmış bir diğ ve etrafında hareketli  
çekiçler bulunur. Kırılmış kalker izgara Çekiçli kırıcı ğıya  
iner.



Silindir döndükçe öğütölmüş farin elde edilir.

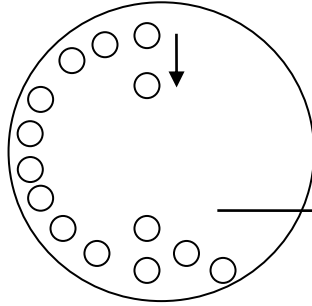
Silindirin dönmüşü bilyeler üst noktaya geldiğinde aşğıya düşecekleri şekilde ayarlanır. Bu şekilde bilyeler arasında farin öğütölür. Farin çimento inceliğine kadar öğütölür

Kırılmış  
kütle



öğütölmüş  
kütle

elek



Değirmenin  
kesiti

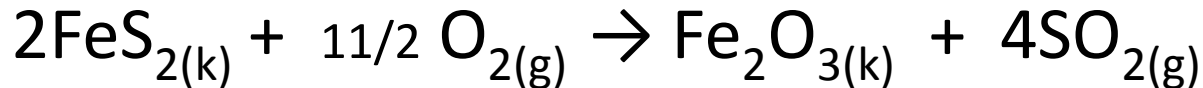
## Çimento fabrikalarında iki tip elek kullanılır.

-**1.Elek** : 950 delik/cm<sup>2</sup> Delik çapı 200 mikron. TSE ye göre öğütülmüş ürün bu elekten geçirildiğinde üstünde en fazla %1 i kalmalıdır. Bu ürünün % 99 u elenmelidir.

-**2.Elek** : 4700 delik /cm<sup>2</sup> R= 90 mikron. TSE ye göre üretilen farinin en fazla %10 u bu elek üstünde kalmalıdır. Geri kalan % 90 ı ise bu elekten elenebilmelidir.

Bu işlemden sonra kil ve kalker karışımı homojene edilebilir. Ne kadar iyi homojenlik sağlanırsa pişirme o kadar iyi olur.

Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sinterleşme sıcaklığını düşürücü etki gösterir. Kilden gelen Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yeterli oranda değilse hammaddenin içine pirit külü eklenir.



pirit külü



# FARİN BİLEŞİMİ

Farin bileşimi için bazı sınırlamalar vardır.

## 1-)HİDROLİK MODÜLÜ :

$$HM = \text{CaO} / \text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 = 1,7 - 2,2 \text{ (ort : 2)}$$

Bu oran tutturulmuşsa diğer modüller kontrol edilir.

## 2-) SİLİKAT MODÜLÜ :

$SM = \text{SiO}_2 / \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 = 1,2 - 4,0 \text{ (2,4 - 2,7)}$  olması istenir. bu eşitliğe uyuyorsa alümin modülüne bakılır.

## 3-) ALÜMİN MODÜLÜ :

$$ALM = \text{Al}_2\text{O}_3 / \text{Fe}_2\text{O}_3 = 1 - 4 \text{ (1,5 - 2,5) olması istenir.}$$

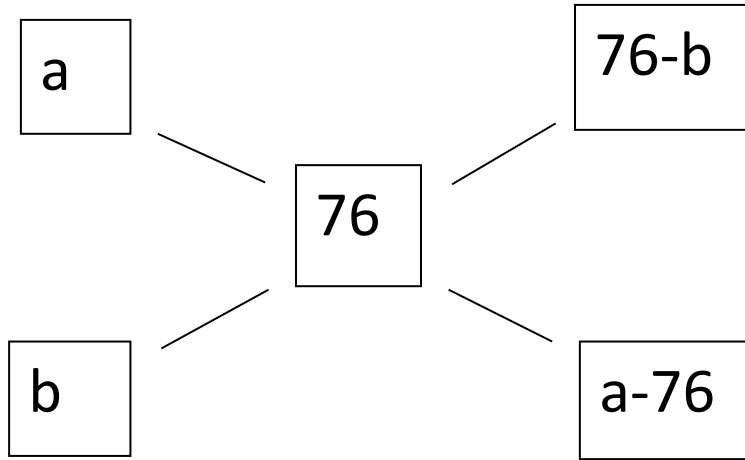
## 4-)KİREÇ STANDARDI :

$KS = [\text{CaO} / 2,8 \text{SiO}_2 + 1,1\text{Al}_2\text{O}_3 + 0,7 \text{Fe}_2\text{O}_3 ] \times 100 = (90 - 95 )$  olması istenir.

Bu eşitliklere uyuluyorsa kaliteli bir klinker elde edilebilir.

## KARIŞIM ORANI TAYİNİ

ÇAPRAZ KURALI:



$$\begin{aligned}\text{Karılma oranı} &= \text{kalker} / \text{kil} \\ &= 76 - b/a - 76\end{aligned}$$

$a$  = Kalkerdeki  $\text{CaCO}_3$  yüzdesi

$b$  = Kildeki  $\text{CaCO}_3$  yüzdesi

76 = İdeal farinin sahip olması gereken  $\text{CaCO}_3$  yüzdesidir.

(Farinin  $\frac{3}{4}$  ü  $\text{CaCO}_3$  tür)

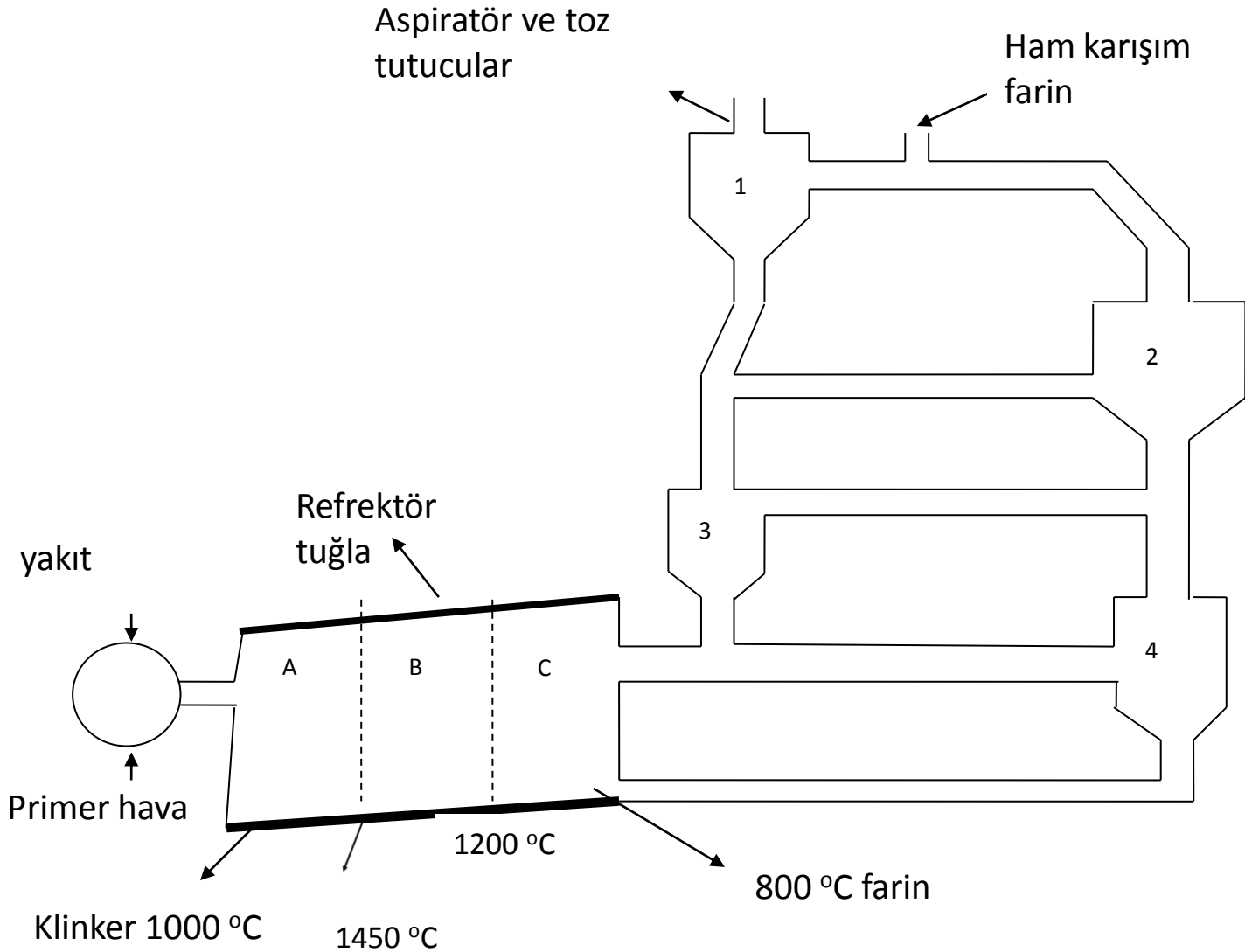
$a - 76$  = Kalkerdeki farine göre  $\text{CaCO}_3$  fazlalığı

$76 - b$  = Kildeki farine göre  $\text{CaCO}_3$  eksikliği

**ÖRN :** Kalkerdeki  $\text{CaCO}_3$  yüzdesi 95 kilin  $\text{CaCO}_3$  ü % 18,5 olarak bulunmuşsa

Karılım oranı =  $[76 - 18,5 / 95 - 76] = (3,02 / 1) =$   
kalker / kil

3 ton kalkerle 1 ton kil karıştırılacak demektir.





1, 2 , 3 ve 4 ile numaralandırılanlar ön ısıtıcı siklonlardır, 4 kademeli gaz süspansiyonlu ön ısıtıcılardır.

$$A = 1450 - 1000 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$B = 1450 - 1200 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$C = 1200 - 800 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

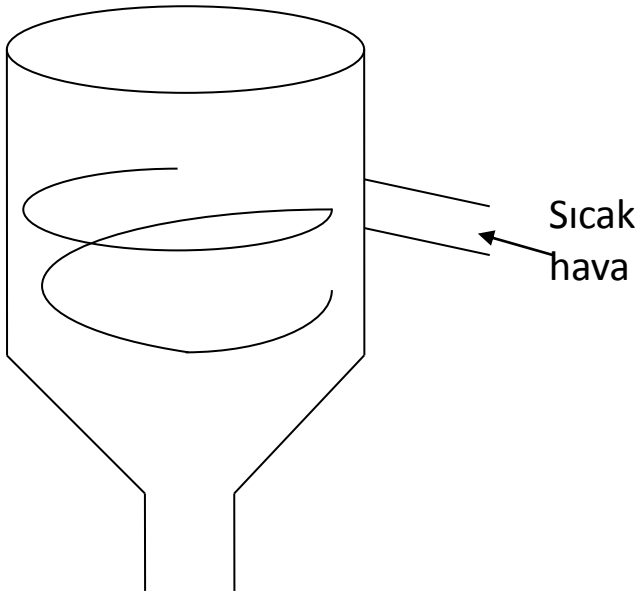
İçi ateşe dayanıklı özel tuğlalarla döşenmiş fırın yavaş yavaş dönmektedir. Yakıt olarak ya fuel-oil veya ince öğütülmüş toz kömür yada bunların karışımı kullanılır.

Bu yakıt primer hava ile fırının içerisine püskürtülür ve yakılır. Bu yakıtın çok iyi yanması için ayrıca sıcak havada gönderilir.

Farin 800  $^{\circ}\text{C}$  ye kadar ısınmış şekilde fırına verilir. Farin fırından çıkan gazlarla ısıtılır.

1100 °C deki hava ile 3 nolu siklondan akmakta olan farin karşılaşır ve 4 nolu siklonda girdap hareketi yapar.

Benzer işlemler diğer siklonlarda da gerçekleşir ve hava ikinci siklondan soğumuş olarak çıkar. Girdap hareketi sonucu sıcak havanın enerjisi farine terk edilir.



Siklonda silindirik bir kısım ve aşağıda bir konik kısım vardır. Gelen farin eğimli olarak geldiği için girdap hareketi yapar. En yüksek hız merkezde olur, sıcak hava merkezden yukarı çıkar. (girdabın merkezi)

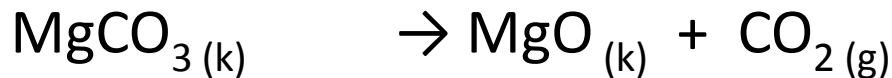
Kenarlarda hız az olduğundan farin aşağıya iner.

# ÖN ISITICILARDA VE DÖNER FIRINLARDA GERÇEKLEŞEN REAKSİYONLAR

1-)100 °C ye kadar, serbest su buharlaşarak ayrılır.

2-)500 °C ye kadar kil endotermik olarak bozulur .  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  serbest hale geçer. Dehidrasyon gerçekleşir.  
(Kristal suyu uzaklaşır)

3-)750 °C ye kadar  $\text{MgCO}_3$  kalsine olur. Serbest  $\text{MgO}$  oluşur.



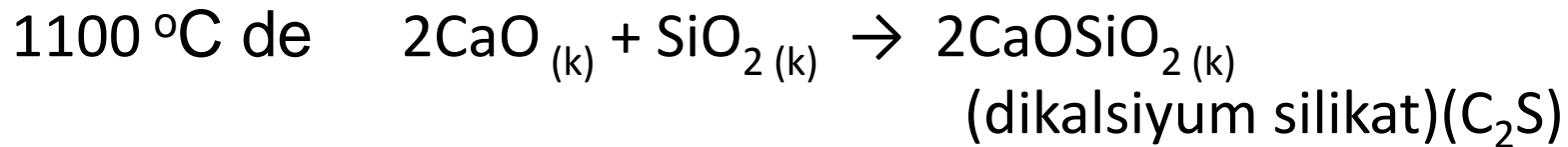
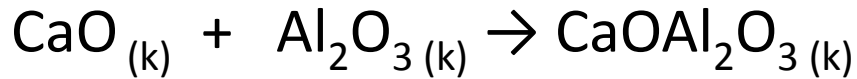
4-) 900 °C ye kadar  $\text{CaCO}_3$  kalsine olur. Serbest  $\text{CaO}$  oluşur.



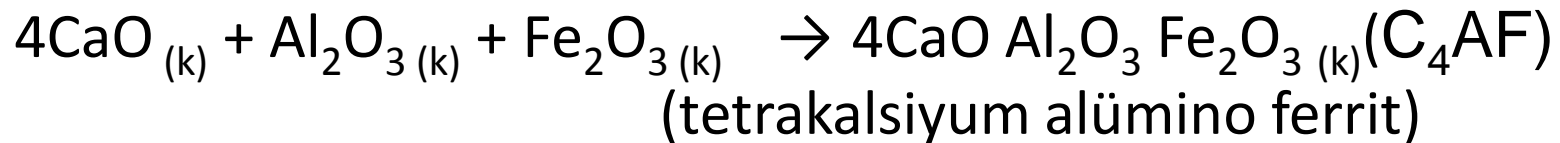
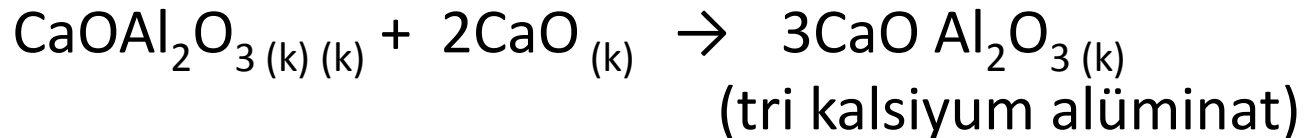


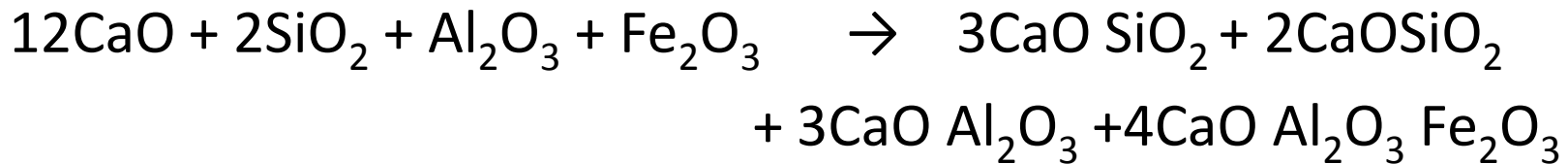
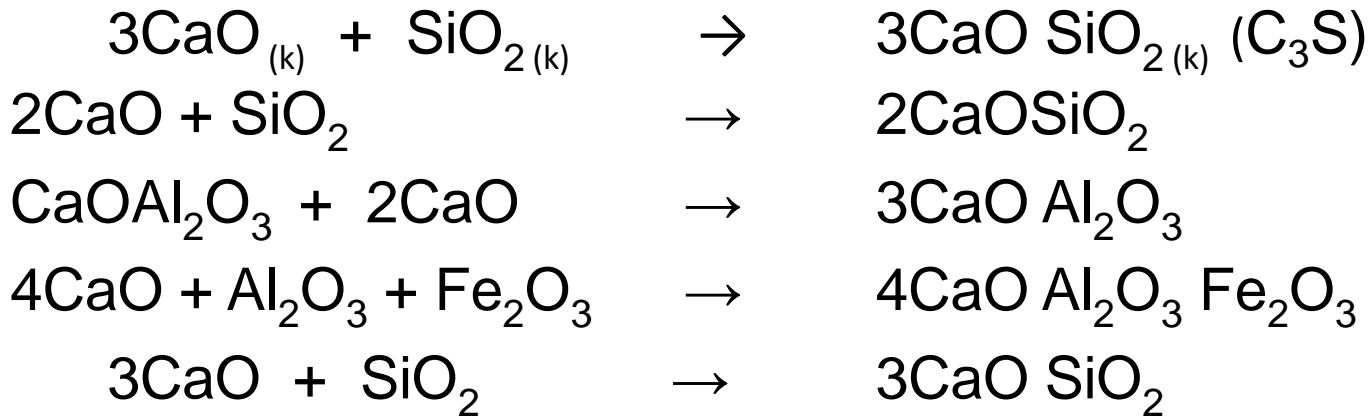
5-)1000 °C civarında katı faz reaksiyonları başlar.

1000 °C ye kadar  $\text{Al}_2\text{O}_3$  CaO ile birleşerek  $\text{CaO Al}_2\text{O}_3$  (CA) monokalsiyumalüminat oluşturur.



6-)1200 – 1300 °C de CA dan  $\text{C}_3\text{A}$  oluşur ve  $\text{C}_4\text{AF}$  oluşur.





$C_3S$  (alit)       $C_2S$  (belit)       $C_3A$  (selit)       $C_4AF$  (Brown-millerit)

C = CaO                      S = SiO<sub>2</sub>                      A = Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>                      F = Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

İyi bir klinkerde %52 alit , %21 belit , %14 brown-millerit , %10 selit  
%1-2 MgO % 1-2 CaO bulunmalıdır.

## KİMYASAL BİLEŞİM

	Farin	Kilnker	Çimento
$\text{SiO}_2$	13	16 - 26	19 - 24
$\text{Al}_2\text{O}_3$	4	4 - 8	4 - 9
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	2	2 - 5	1,6 - 6
$\text{CaO}$	43	58 - 67	60 - 67
$\text{MgO}$	1	1 - 5	0 - 5
K.K	36	0,5 - 3	0 - 4
$\text{SO}_3$	0-1	1.1,5	0 - 3



klinker



klinker

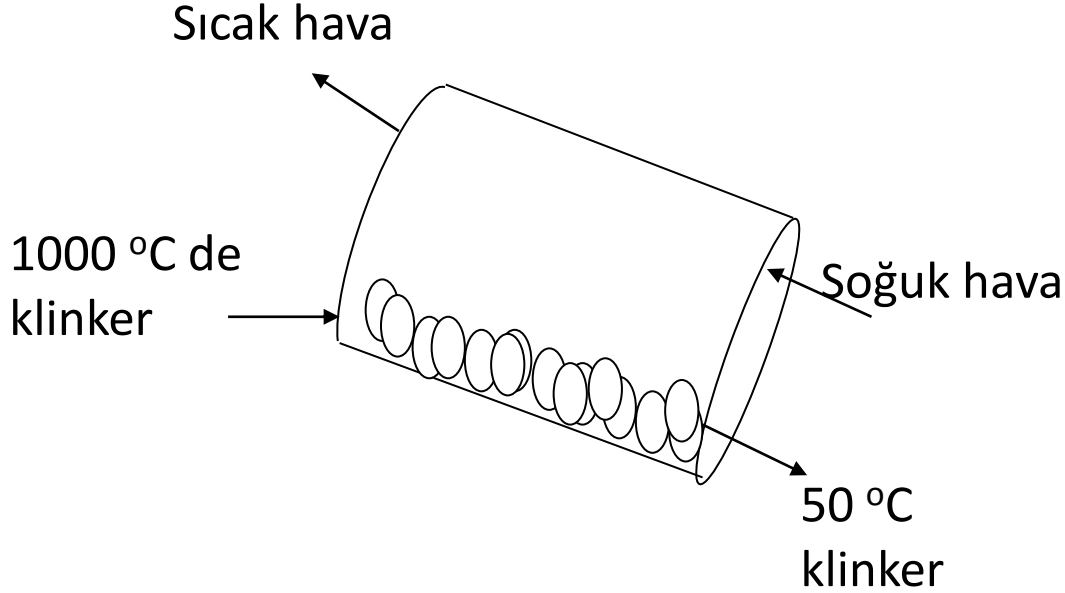
# KLİNKERİN SOĞUTULMASI VE SÖNDÜRÜLMESİ

Döner fırından çıkan ( $1000^{\circ}\text{C}$ ) klinker soğutularak klinkerin enerjisinden faydalanılır.

Klinker yavaş soğutulursa büyük kristaller elde edilebilir. Ani soğutma ile kristallenmeden amorf yapıda kalır, bu şekilde küçük boyutlu amorf katı ele geçer.

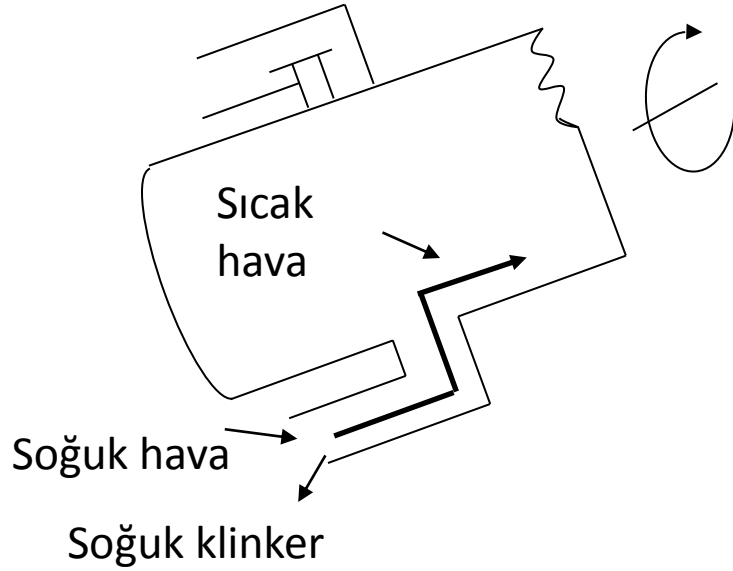
Amorf katılar (küçük boyutlu) reaksiyona girme açısından daha aktiftir. Bu sebeple ani soğutma gerçekleştirilir.

## a-) DÖNER SOĞUTUCULAR :



Buradan alınan sıcak havanın bir kısmı kili kurutmak için bir kısmı da döner fırında sekonder hava olarak kullanılır

**b- ) UYDU SOĞUTUCULAR** : Döner fırının alt tarafına çepeçevre monte edilmiş küçük silindirlerden ibarettir. Döner fırın belirli bir hızda dönerken bunlar da belirli hızlarda hareket ederler. Hareketleri döner fırına bağlıdır. Döner fırın etrafında bunlardan çok sayıda olabilir.



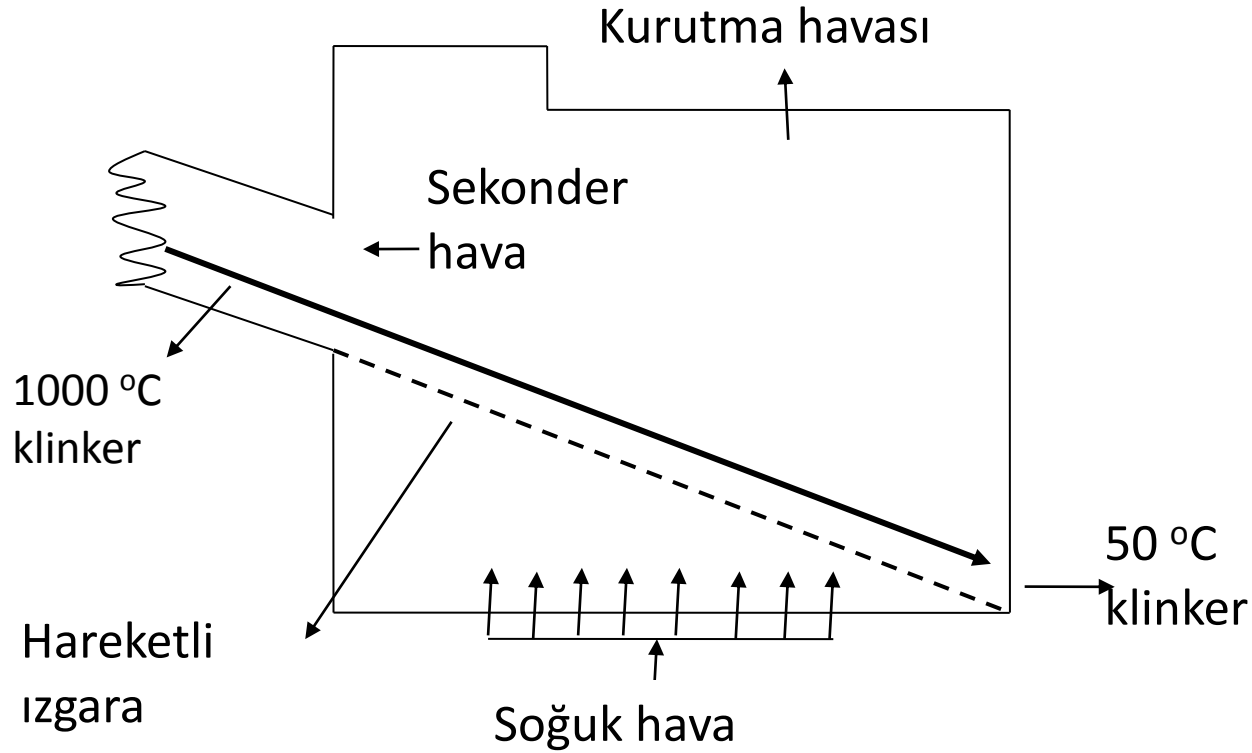
Hangi döner soğutucu alttaysa klinker onun içine girer ve ters akım prensibine göre soğur.

En verimli soğutucu tipi budur.





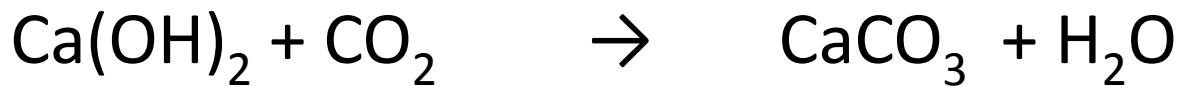
## c-) IZGARALI SOĞUTUCU (FULLER SOĞUTUCU)



### 3- KLİNKERİN SÖNDÜRÜLMESİ

1 kg klinker üretmek için 850 kcal lik enerji harcanmış olur. Ele geçen klinker havada depolanır.

Klinkerde % 1-2 oranında CaO vardır. Bu serbest kireç klinkerden uzaklaştırılmalıdır. Klinker havada bekletilirse havanın nemi ve CO<sub>2</sub> ile etkileşerek Ca(OH)<sub>2</sub> ve CaCO<sub>3</sub> ü oluşturacak şekilde dönüşür.

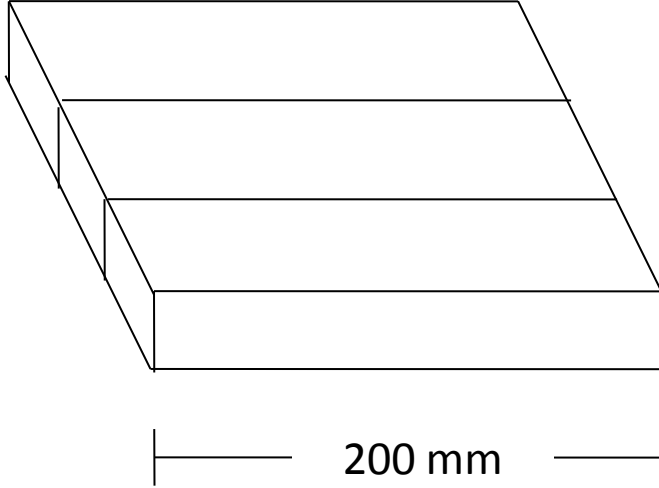


Bu olaya klinkerin söndürülmesi işlemi adı verilir.

# ÇİMENTO ÜRETİMİ

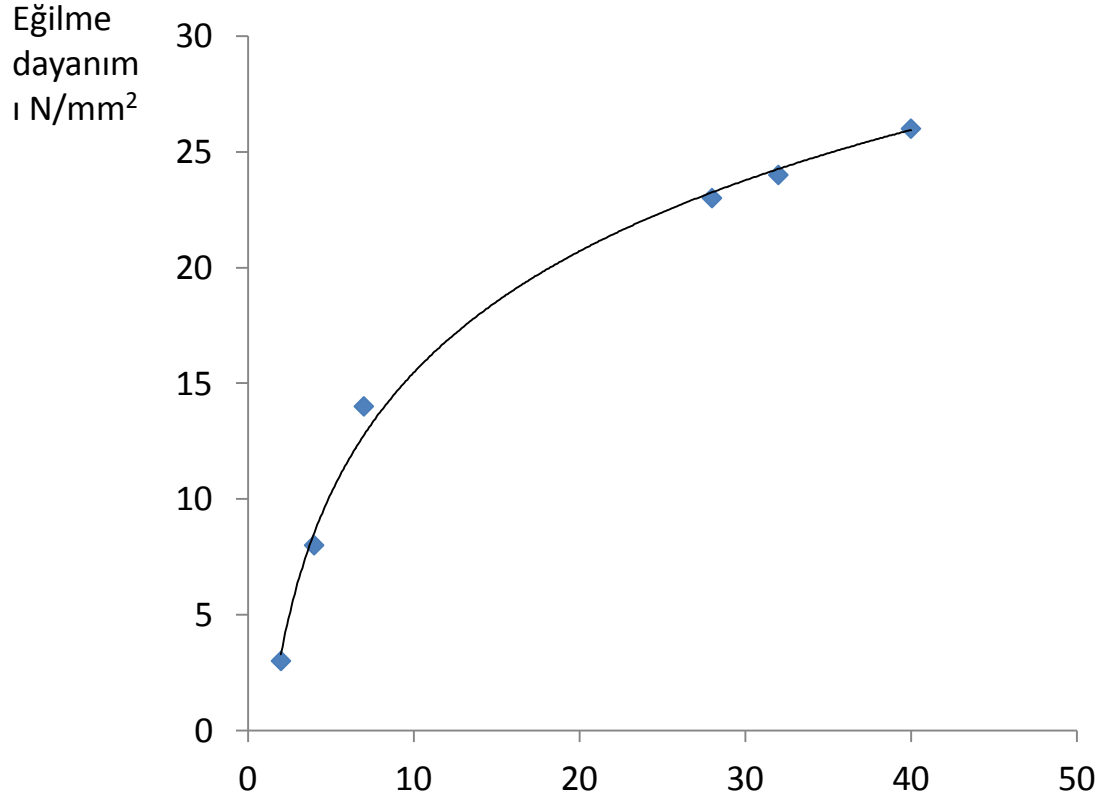
Söndürülen klinker % 3-5 oranında  $\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$  (jips, alçı taşı) karıştırılarak çimento değirmeninde öğütülür. İnceliği farin bahsinde anlatıldığı gibidir. Böylece elde edilen ürün çimentodur. Jips çimentonun donma (prizlenme) süresini ayarlamak için kullanılır.

# ÇİMENTO TESTLERİ



Testlerde kalıp hazırlamak için: çimento, kum, su karışımı (harç) dökülür. Döküldükten sonra üzeri kapatılır. Bir gün sonra kalıptan çıkarılan beton bloklar su içerisine konulur. 2, 7, 28 ve 90 gün, 20 cm lik kalıplar suda bekletilir.

## a-)EĞİLME DAYANIMI



TS 19

7 gün en az  $4 \text{ N/mm}^2$

28 gün en az  $5,5 \text{ N/mm}^2$

$1 \text{ N/mm}^2 = 10 \text{ kg/cm}^2$

## b-) BASINÇ DAYANIMI

Bloklar üzerlerine belirli bir basınç uygulandığında aniden parçalanır. Bu parçalanma anındaki basıncı belirlenir.

$$1 \text{ gün en az } 100 \text{ kg / cm}^2 = 10 \text{ N/ mm}^2$$

$$7 \text{ gün en az } 210 \text{ kg / cm}^2 = 21 \text{ N/ mm}^2$$

$$28 \text{ gün ez az } 325 \text{ kg / cm}^2 = 32,5 \text{ N/ mm}^2$$

## PORTLAND ÇİMENTOSU ( PÇ 32,5 )

Yukarıda anlatılan şekilde elde edilen çimentoya portland çimentosu adı verilir.

PÇ 32,5 sayı basınç dayanımını (28 günlük) gösterir.

PÇ 42,5 yüksek dayanımlı çimentodur.

Portlant çimentosu az oranda satılır. Bu çimento türüne oranla katkıli portland çimentosu daha çok satılır.

# KATKILI PORTLAND ÇİMENTOSU ( KPÇ )

PÇ na göre % 21- 35 oranında tras katılarak hazırlanan çimentodur. Tras puzzolanik bir maddedir. Tras kimyasal bileşiminde yüksek oranda  $\text{SiO}_2$  ve daha az oranda  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  bulunur. Tras klinker ve alçı taşına benzer şekilde öğütülür. Ve KPÇ elde edilir.

**PUZZOLANİK MADDE:** Tek başına bağlayıcı özelliği olmadığı halde kireç ile karıştırıldığında çimento özelliği kazanan maddelere denir.



**Puzzolanik madde** a-) Doğal tras (volkanik tüfler)  
b-) sentetik uçucu kül

UÇUCU KÜL: Kömür yakan termik santrallerde elde edilir. Puzzolanik özelliğe sahiptir.

Klinkere öğütme sırasında % 6 – 10 oranında tras katılırsa katkılı portland çimentosu (KPÇ) adı verilir. Daha fazla tras katılırsa traslı çimento (TÇ) adı verilir.

Yaklaşık 60 kg klinker, 35 kg tras, 5 kg alçı taşı karıştırılarak 100 kg çimento elde edilebilir.

Tras tabiatta bulunan bir maddedir. Tras kullanımı çimentonun daha ekonomik halde elde edilmesini sağlar.

# ÇİMENTONUN SERTLEŞMESİ

PÇ klinkerinin ana bileşenleri dikalsiyum silikat ( $C_2S$ ), trikalsiyum silikat ( $C_3S$ ), trikalsiyum alüminat( $C_3A$ ) ve tetra kalsiyum alümino ferrit ( $C_4AF$ ) tır.

Öğütme sırasında bu klinkere % 3 – 5 kadar alçı taşı (jibs) ve yeteri kadar puzzolanik madde katılır.

Çimento su ve kum ile karıştırıldığında harç adı verilen karışım meydana gelir. Harçta birbirini izleyen bir seri hidrasyon reaksiyonuyla basınç ve gerilim kuvvetlerine direnç gösteren katı bir ürün meydana gelir. Bu ürüne beton adı verilir.

Yüksek silikat modüllü çimentolar yavaş olarak, düşük silikat modülüne sahip çimentolar daha çabuk sertleşir.

Çimentonun sertleşmesini ve donmasını açıklamak üzere birçok teori ortaya atılmışsa da hemen hepsinde hidrasyon ve hidroliz reaksiyonlarının gerçekleştiği kabul edilir.

**Hidrasyon ürünlerinin sudaki çözünürlükleri çok düşüktür.**

## Sertleşme olayı iki basamakta olur: 1-) Bağlanma 2-) Sertleşme

**BAĞLANMA (PRİZLENME):** Birkaç dakikada meydana gelebilir ve klinker bileşenlerinin hidratlanmasıyla oluşur. Aşırı doymuş bir çözeltinin aniden kristallenmesinden (yani hidrat kristallerinin oluşmasından) kaynaklanır.

**SERTLEŞME:** Sertleşme ise amorf hidratların çözünmesi ve tekrar kristallenmesi olaylarının birbirini izlemesiyle meydana gelir.

## **BAĞLANMA:**

$C_2S$  ve  $C_3S$  su ile:



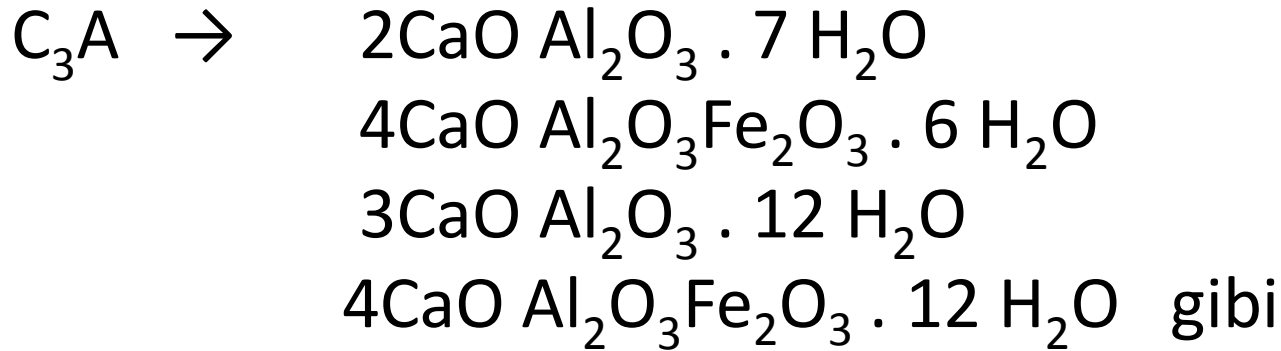
Hidratlaşma reaksiyonları meydana gelir. Reaksiyonlarda kalsiyum silikat hidratlar ve sönmüş kireç meydana gelir.

Böylece çimentonun cinsine göre birkaç dakikadan birkaç güne kadar değişen süre içerisinde viskozite artar ve hamur şekil değiştiremez bir hal alır. Bu olaya bağlanma (prizlenme) adı verilir.

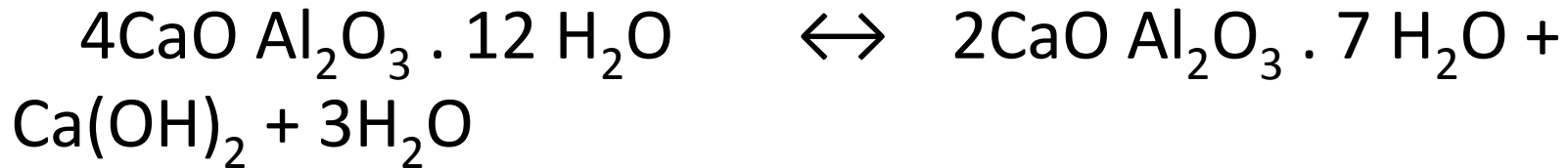
## SERTLEŞME

Bağlanma ile katılan maddenin mekanik direnci (dayanımı) günlerce, haftalarca artmaya devam eder. Bu olaya da sertleşme adı verilir.

Sertleşmedeki reaksiyonlar da  $C_3A$  su ile birçok hidrat bileşiği oluşturur.



Çimentonun kireç bakımından daha zengin olduğu ortamda bunlardan daha çok  $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 12 \text{H}_2\text{O}$  ve bunlardan daha yavaş  $2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$  meydana gelir.



Yani hidratlı tetra kalsiyum alüminat ve di kalsiyum alüminat hidrolize uğrayarak sertleşmeye neden olurlar.

Bu iki alüminat  $3 \text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$  ün hidrasyonu sonucu meydana gelir.

**Bu teoriye göre çimentonun hidrolik esas bileşenleri:**

**Bağlanmaya neden olan:  $\text{C}_3\text{S}$**

**Sertleşmeye neden olan:  $\text{C}_3\text{A}$**

