



Dokuz Eylül Üniversitesi
İnşaat Mühendisliği Bölümü

İNŞ2024 YAPI MALZEMESİ II

ÇİMENTO

Dr. Öğr. Üyesi Çağlar YALÇINKAYA

www.caglaryalcinkaya.com

ÇİMENTO



- ✓ "Çimento" kelimesi, yontulmuş taş kırıntısı anlamındaki Latince "caementum" kelimesinden türemiştir.
- ✓ Daha sonra bu kelime bağlayıcı anlamında kullanılmaya başlamıştır.

- ✓ 19. yüzyılın başlangıcında kil içeren, kireçtaşlarının yakılması deneyleri çimentonun keşfine yol açmıştır.

ÇİMENTO

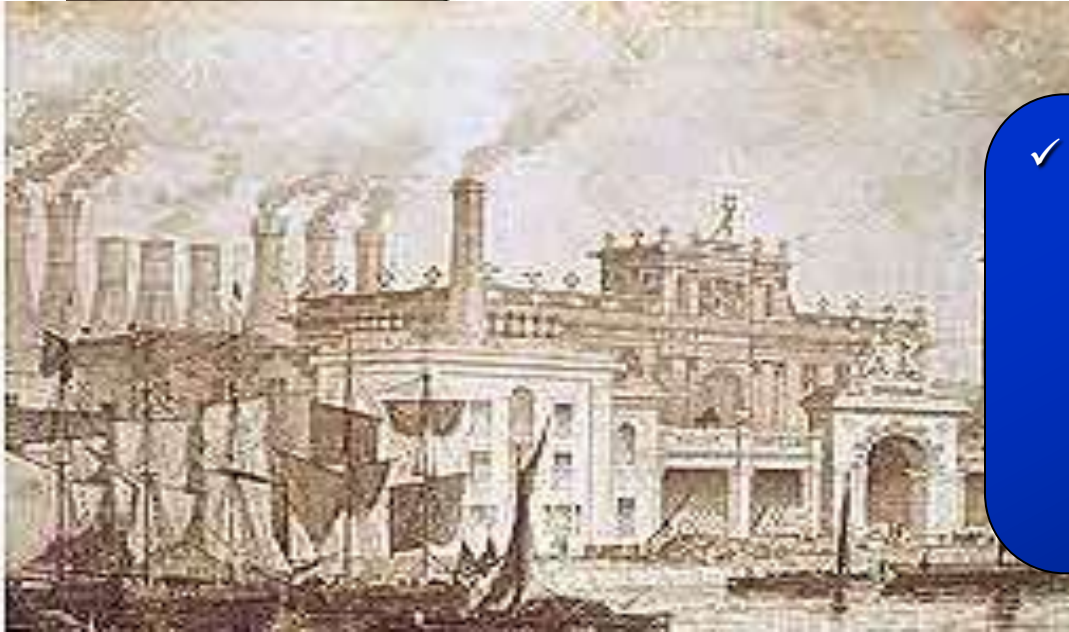


- ✓ Bu bağlayıcı daha sonraki yıllarda büyük gelişmeler gösterse de "Portland" ismi aynen korunmuştur.
- ✓ Aslında Joseph Aspdin tarafından üretilen bağlayıcı, üretim sırasında yeterince yüksek sıcaklıklarda pişirilmediği için bugünkü Portland çimentosunun özelliklerine tamamen sahip olamamıştır.
- ✓ Yine de İngiltere Kirkgate İstasyonunun yanındaki halen ayakta olan "Wakefield Arms" binasının Joseph Aspdin'in yaptığı bağlayıcı ile yapıldığı belirlenmiştir.
- ✓ Hammaddelerin yüksek sıcaklıklara kadar pişirilip öğütülmesi 1845 yılında Isaac Johnson isimli bir İngiliz tarafından gerçekleştirilmiştir.

ÇİMENTO



- ✓ Yanda 1824 yılında Joseph Aspdin ve ortağı işadamı John Beverley tarafından Leeds kenti yakınlarındaki Wakefield kasabasında kurulan ve Portland çimentosu üretimi yapılan imalathane görülmektedir.



- ✓ Yanda Joseph Aspdin'in oğlu William Aspdin'in bir sermayedar ile birlikte kurduğu "Aspdin, Ord. and Co." isimli şirkete bağlı olan çimento fabrikası görülmektedir. 1852 yılında kurulan bu fabrikada haftada 512 ton çimento üretilmekteydi.

ÇİMENTO



- ✓ Türkiye’de ise ilk çimento fabrikaları 1910 yılında Eskişehir’de kurulan Arslan ve 1911 yılında kurulmuş olan Eskihisar çimento fabrikalarıdır.
- ✓ Ülkemiz 39 çimento fabrikası ve 18 öğütme tesisi ile **Avrupa’nın ikinci, dünyanın ise yedinci büyük üreticisi** konumundadır.
- ✓ Cumhuriyetin kuruluşuna kadar yıllık toplam üretimi 35.000 tonu geçmeyen Türk çimento endüstrisi 2005 yılında 35 milyon ton, **2006 yılında da 40 milyon ton üretim** yapmıştır.

ÇİMENTO ÜRETİMİ



KALKER (KİREÇTAŞI) CaCO_3

KİL Al_2O_3 , SiO_2 , Fe_2O_3

} ÇİMENTO

Σ

CaO ($\approx\%65$)

SiO_2 ($\approx\%22$)

Al_2O_3 ($\approx\%7$)

Fe_2O_3 ($\approx\%3$)

$\neq$

ÇİMENTO

ÇİMENTO ÜRETİMİ



HAMMADDE



KIRMA



ÖĞÜTME



KARIŞTIRMA (YAŞ, KURU, YARI KURU)



YAKMA (1450-1650°C)

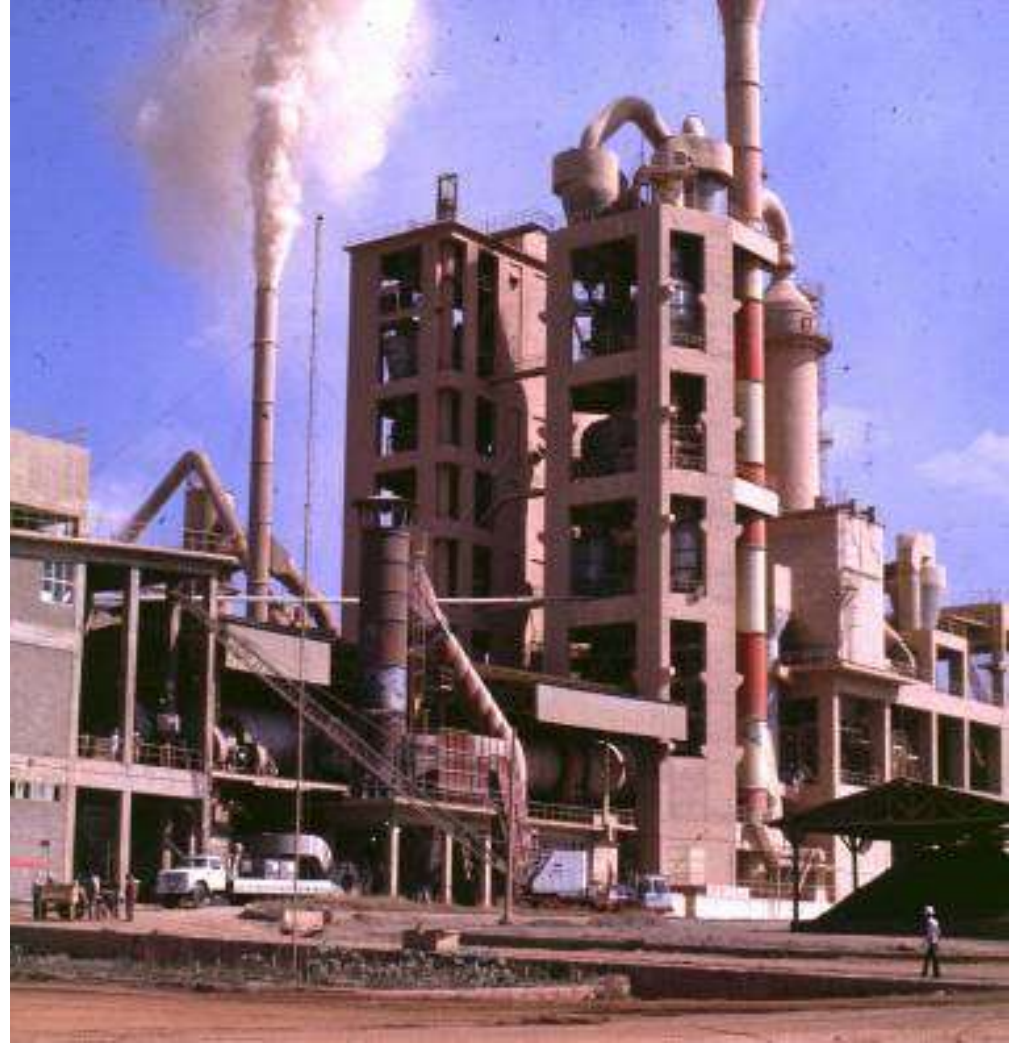


KLİNKER

ÇİMENTO ÜRETİMİ



Çimento
üretimi
dünyadaki
CO₂
üretiminin
%8'nin
sorumlusudur.



ÇİMENTO ÜRETİMİ



ÇİMENTO ÜRETİMİ



ÇİMENTO ÜRETİMİ



ÇİMENTO ÜRETİMİ



ÇİMENTONUN ANA HAMMADDELERİ

Al_2O_3 (Alüminyumoksit)

CaCO_3 (Kalsiyum Karbonat) + SiO_2 (Silisyumdioksit)



Kalker (Kireçtaşı)

Fe_2O_3 (Demiroksit)

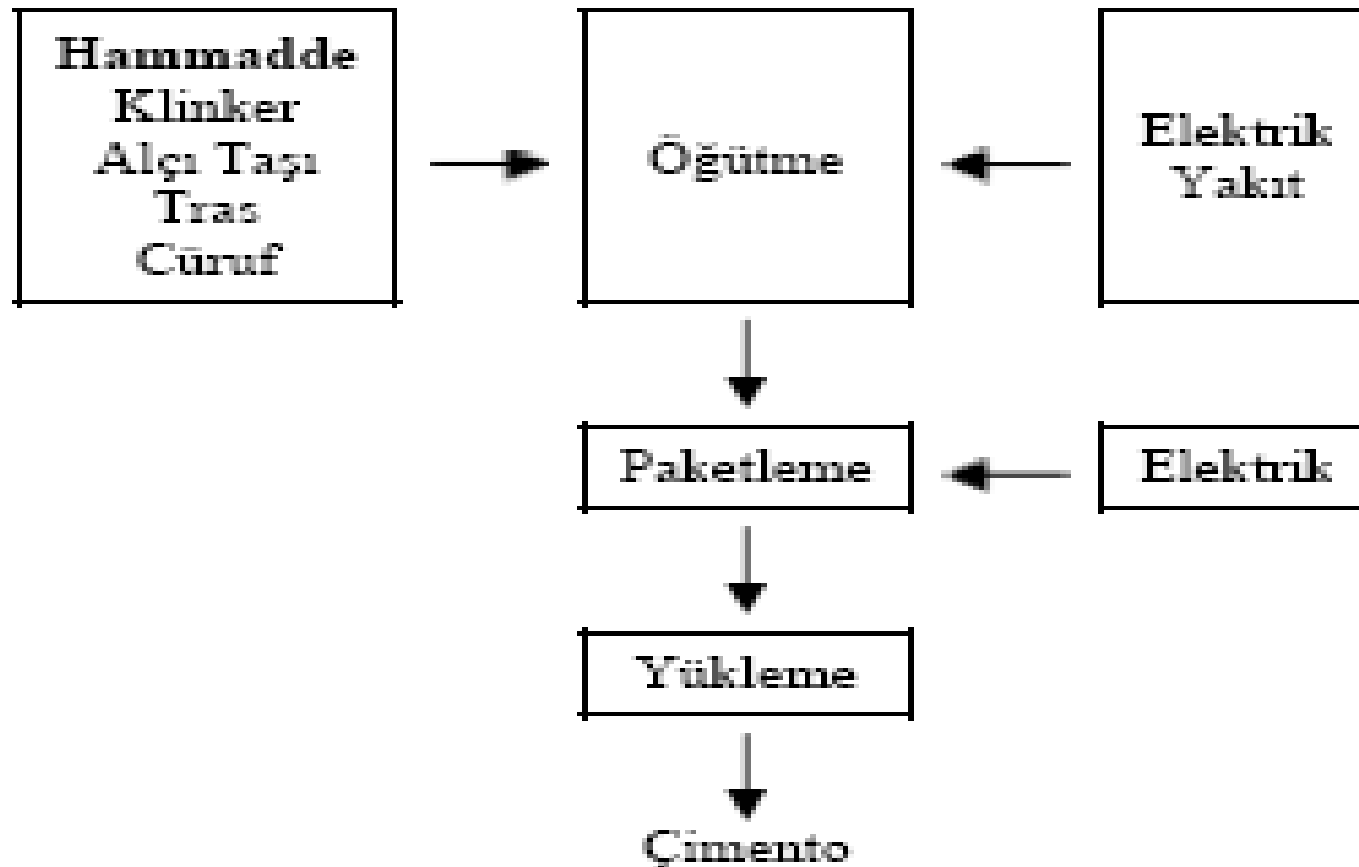


Kil

ÇİMENTO ÜRETİMİ



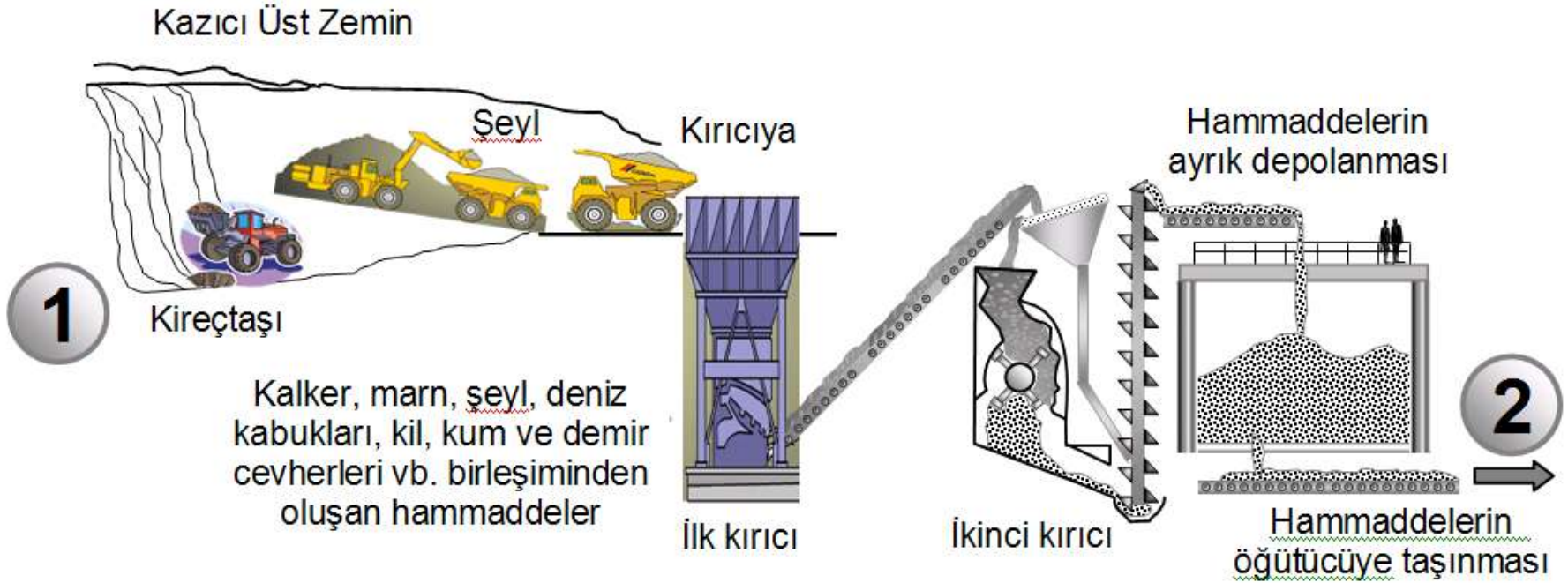
ÇİMENTO ÜRETİM ŞEMASI



ÇİMENTO ÜRETİMİ



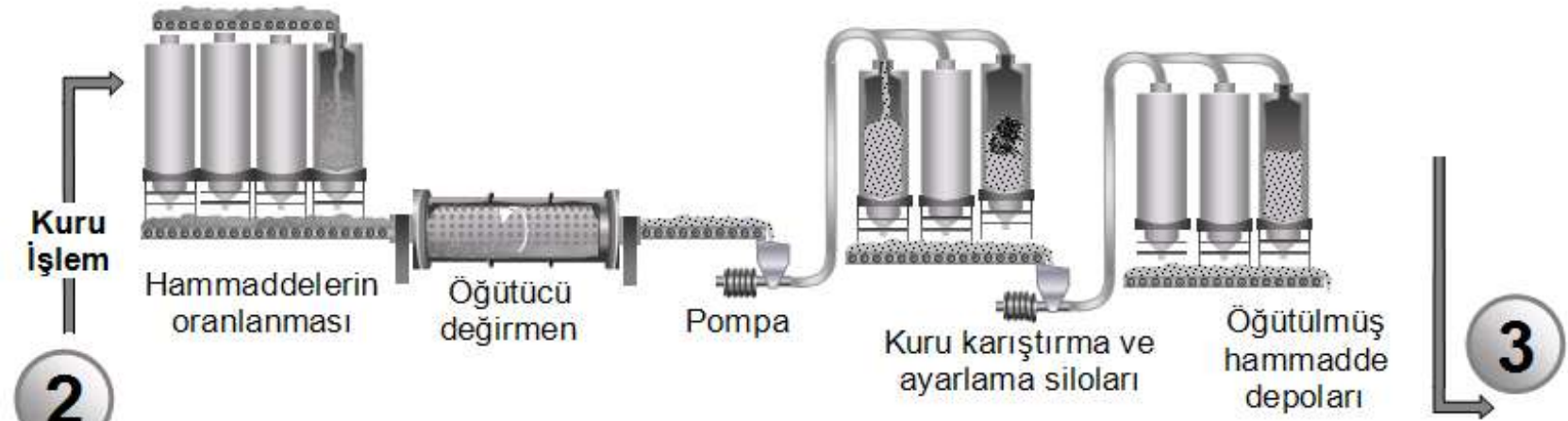
Kayaların Kırılıp İstenen Boyuta İndirilip Depolanması



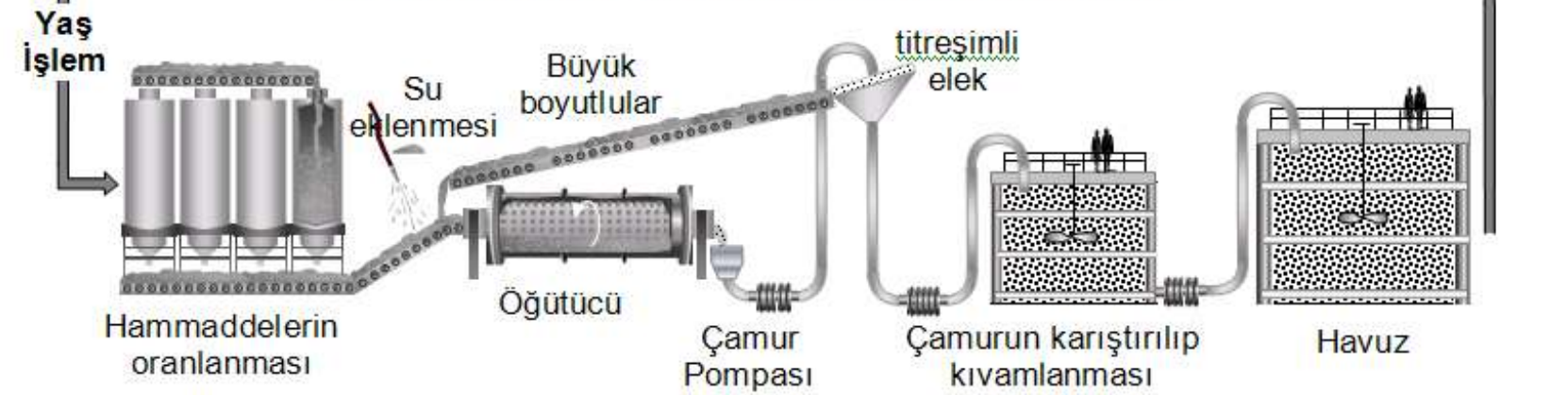
ÇİMENTO ÜRETİMİ



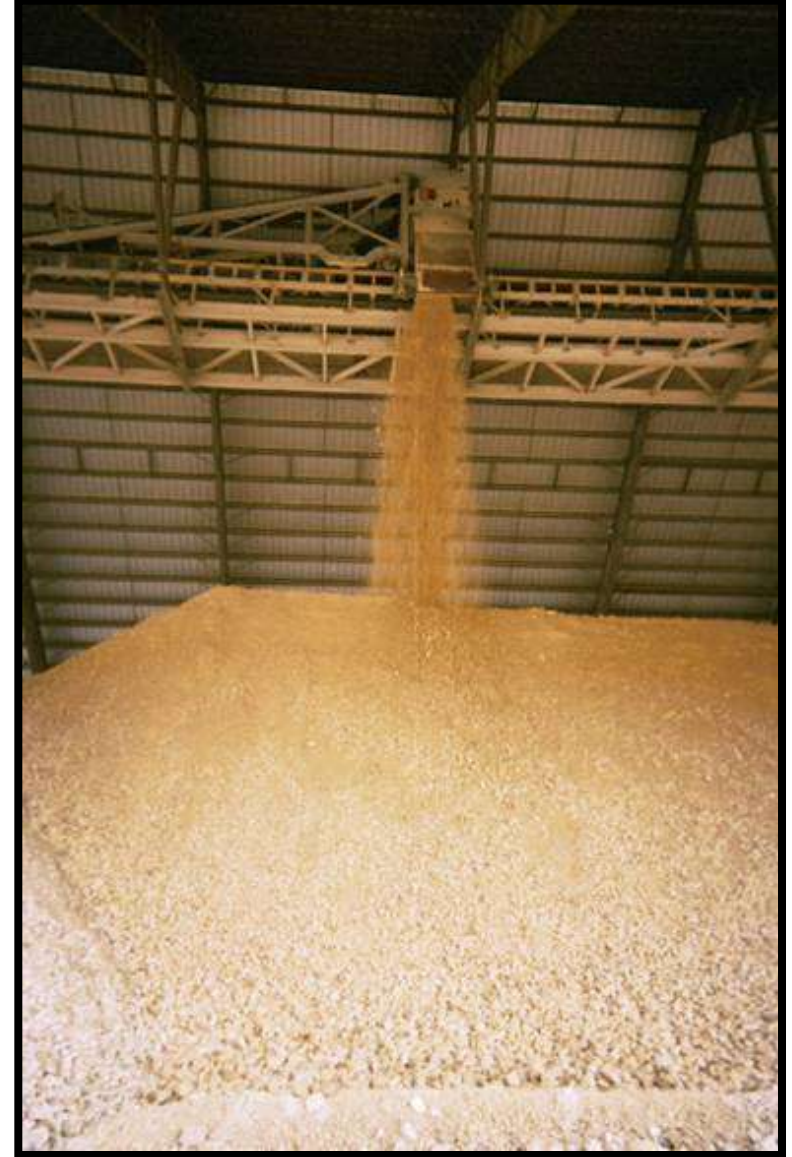
Hammaddelerin Toz Haline Getirilip Karıştırılması



Hammaddelerin Su ile karıştırılıp Ayarlanması



ÇİMENTO ÜRETİMİ



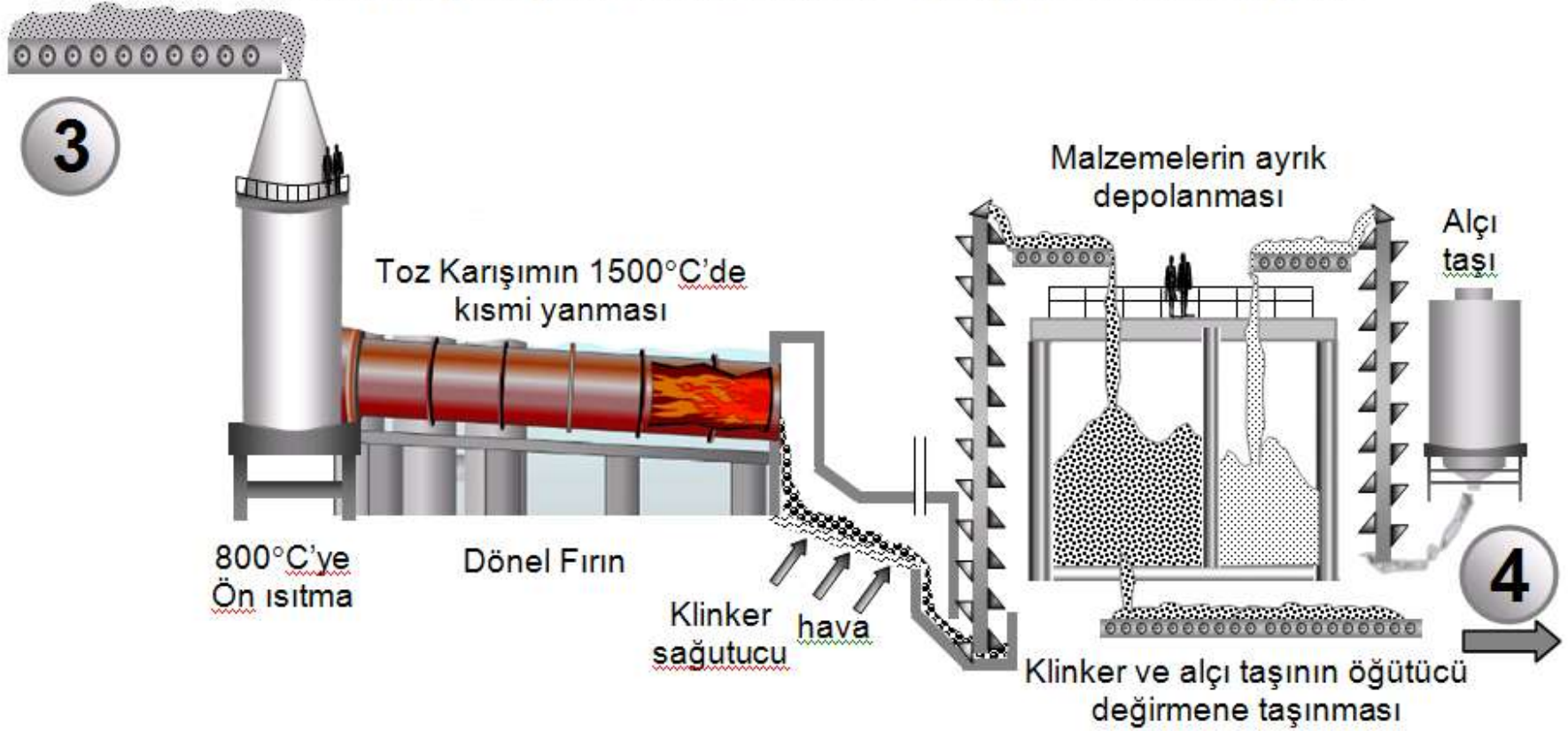
ÇİMENTO ÜRETİMİ



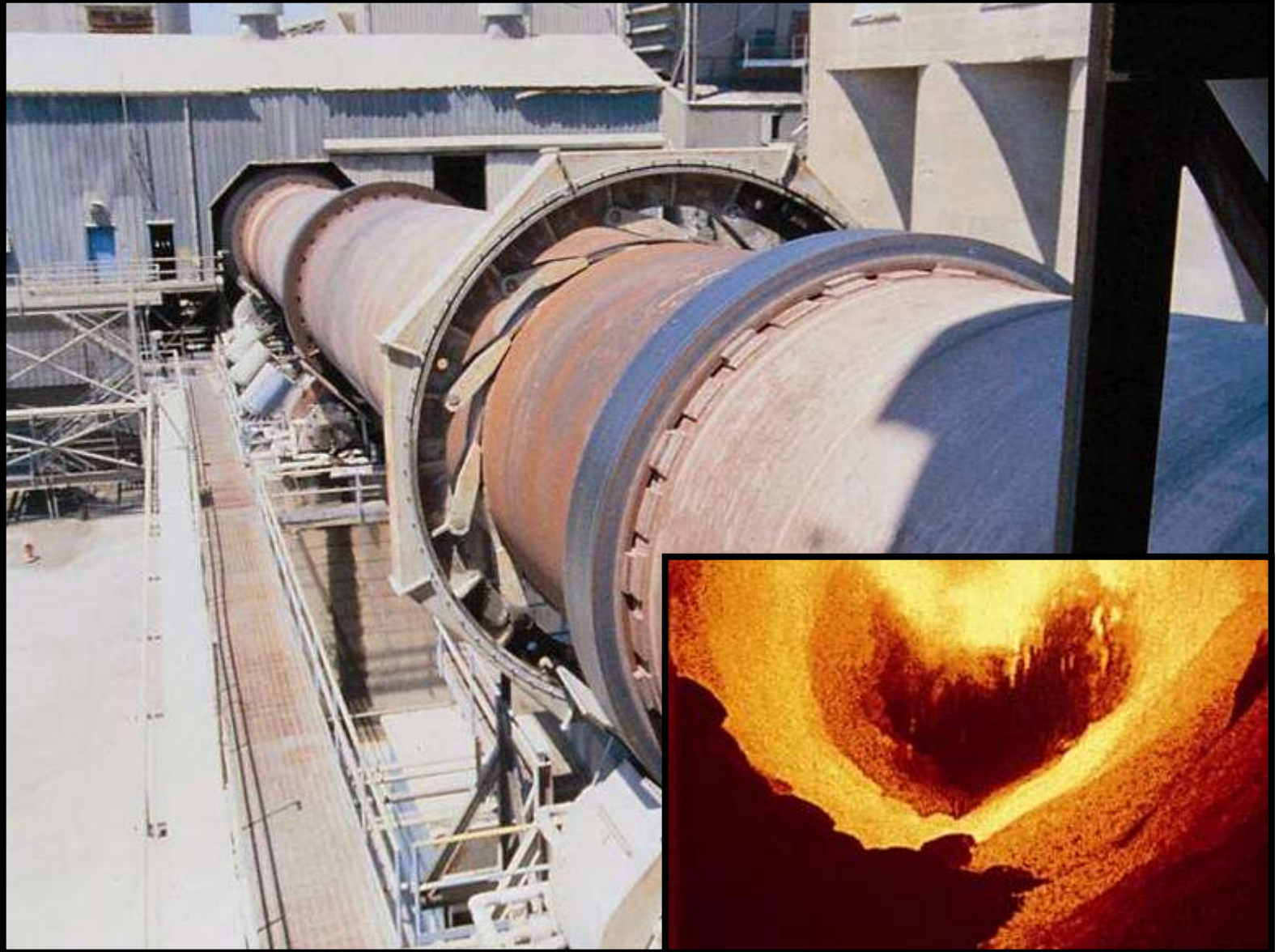
ÇİMENTO ÜRETİMİ



Ham Karışımı Çimento Klinkerine Dönüştüren Yakma İşlemi



ÇİMENTO ÜRETİMİ



ÇİMENTO ÜRETİMİ



ÇİMENTO ÜRETİMİ

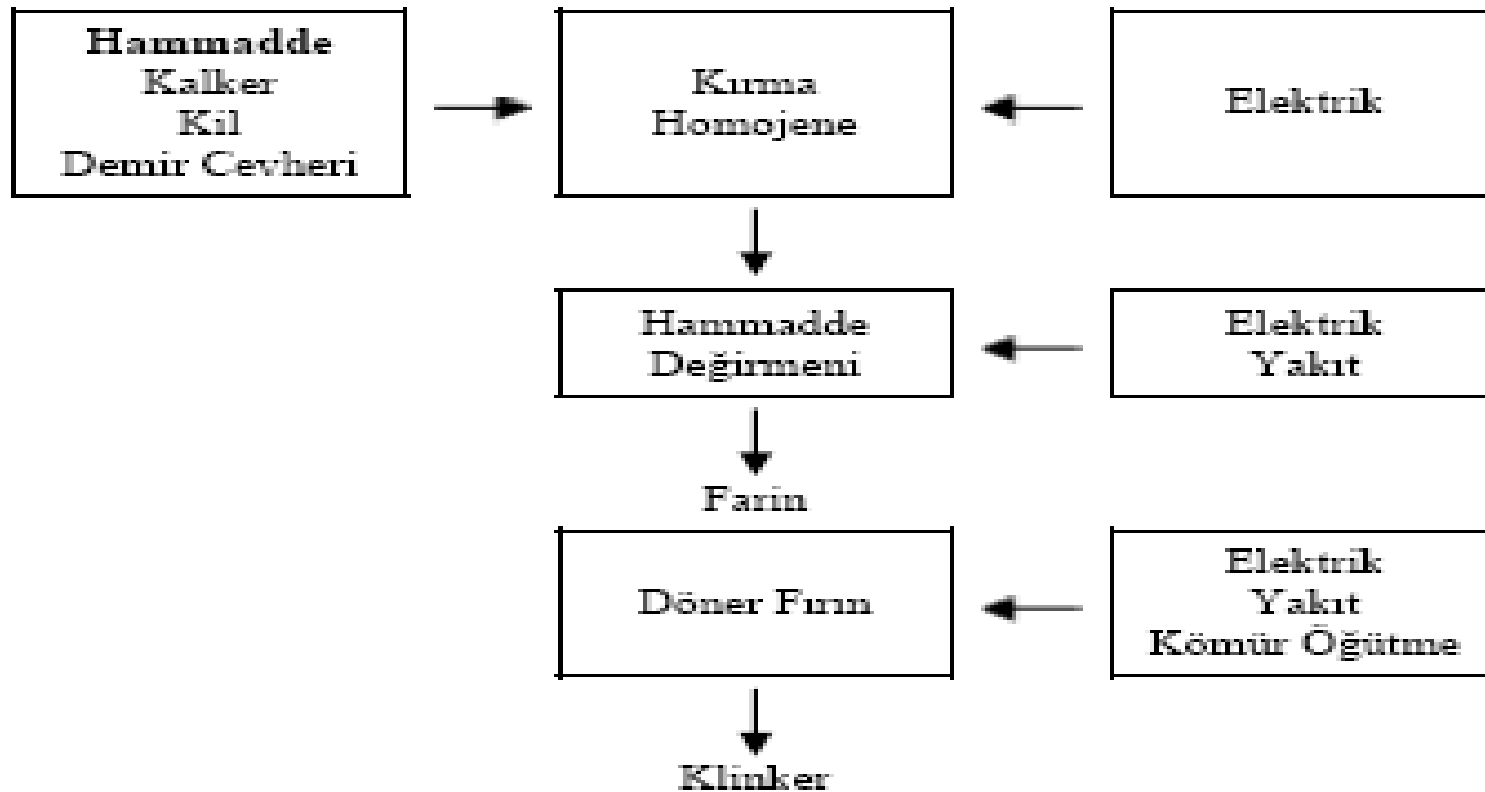


KLİNKER

ÇİMENTO ÜRETİMİ



KLİNKER ÜRETİMİ



KLİNKER

ÇİMENTO ÜRETİMİ



KARIŞIMLARIN PİŞİRİLMESİ

- ✓ Fırındaki maksimum sıcaklık 1500°C'ye kadar yükselmektedir.



- ✓ Bu yüksek sıcaklık altında daha önce ilkel malzemenin ayrışması sonucu oluşan; **kireç, silis, alumin, demiroksit** aralarında birleşerek, **çimentonun karmaşık bileşimleri olan silikatları ve aluminatları** meydana getirir.

ÇİMENTO ÜRETİMİ



KARIŞIMLARIN PIŞIRILMESİ

- ✓ Fırının altından gri kürecikler halinde “**klinker**” adı verilen pişmiş elemanlar çıkar.
- ✓ Fırından 1000°C'ye yakın bir sıcaklıkta çıkan klinkerin genel olarak **hızlı bir şekilde soğutulması** gereklidir. Bu amaçla hava akımı sağlayan ve kendi eksenini etrafında dönen **soğutucular** kullanılır.
- ✓ Soğutulan klinker bir kırıcıdan geçirilerek depolanır.

ÇİMENTO ÜRETİMİ



KLİNKERİN ÖĞÜTÜLMESİ

- ✓ Soğutucudan çıkan klinker, boyutları 1-3 cm arasında değişen, pürüzlü, gözenekli bir yüzeye sahip, sert, yuvarlak, koyu gri tanelerden oluşur.
- ✓ Klinker su ile herhangi bir reaksiyon yapmaz ve bu maddenin bağlayıcılık özelliği yoktur.
- ✓ Klinker ancak ince bir şekilde öğütüldükten sonra bağlayıcı özelliği kazanır.

ÇİMENTO ÜRETİMİ



KLİNKERİN ÖĞÜTÜLMESİ

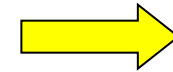
- ✓ Klinkere çimentonun priz süresini düzenlemek için az oranda (%3-6) alçıtaşı eklenir.
- ✓ Alçı taşı olmaması halinde çimento çok hızlı sertleşeceğinden betonu rahatça yerine yerleştirme olanağı kalmaz.
- ✓ Katkılı Portland çimentosu üretiminde ise; puzolan olarak kullanılan hammadde bu aşamada klinkere katılır.

ÇİMENTO ÜRETİMİ



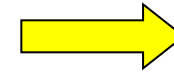
KLİNKERİN ÖĞÜTÜLMESİ

**KLİNKER + ALÇI TAŞI
(PRİZ SÜRESİ)**



CEM I

KLİNKER+ALÇI TAŞI+PUZOLAN



**CEM II
CEM III
CEM IV
CEM V**

ÇİMENTO ÜRETİMİ



KLİNKERİN ÖĞÜTÜLMESİ

- ✓ Klinker ve diğer katkılar çelik bilyalı öğütücülerde boyutları 90 mikron ile 6.5 mikron arasında değişen tanelere dönüştürülerek çimento elde edilir.
- ✓ Öğütülen çimento silolara gönderilerek gerekli süre bekletilip soğuması ve kararlı bir durum alması sağlanır.
- ✓ Çimentonun özellikle sıcak ve kuru havalarda iş yerine sıcak gönderilmesi halinde, betondaki su daha çabuk buharlaşmakta ve daha hızlı priz yapmaktadır.
- ✓ Bu nedenle kullanım yerine giden çimento sıcaklığının en fazla 75°C olması istenir.

ÇİMENTO ÜRETİMİ



ÇİMENTONUN SAKLANMASI

- ✓ Çimentoların dört aydan fazla bekletilmemeleri gerekir. Uygun depolama koşullarında bile çimentolar ortamdan nem alıp dayanım kaybına uğrayabilirler.
- ✓ Şantiyede özel depo yaptırılıyorsa, binanın tavanının içten eğimli yapılmasında yarar vardır. Böylece nemin yoğunlaşarak çimento torbaları üzerine damlaması önlenir.

ÇİMENTO ÜRETİMİ



ÇİMENTONUN SAKLANMASI

- ✓ Çimentolar kuru ambarlarda veya hava almayan, ağzı kapalı silolarda saklanmalıdır.



Zeminden rutubet almaması için depo zeminine plastik örtü serilip, yere ahşap ızgara yapılması uygun olacaktır.

- ✓ En çok 8 torba üst üste dizilmelidir.



- ✓ Torba dizileri arasından hava akımı geçebilmelidir.

ÇİMENTO ÜRETİMİ



ÇİMENTO KİMYASINDA KISALTMALAR

CaO



C

SiO₂



S

H₂O



H

Al₂O₃



A

Fe₂O₃



F

ÇİMENTO ÜRETİMİ



DÖNER FIRINDAKİ OLUŞAN DEĞİŞİMLER

Döner Fırın En kesiti

Topaklanma işlemi

Klinker reaksiyonları

700°C'ye kadar

Hammaddeler serbest hareket eden toz haldedir.



Tanecikler katıdır.

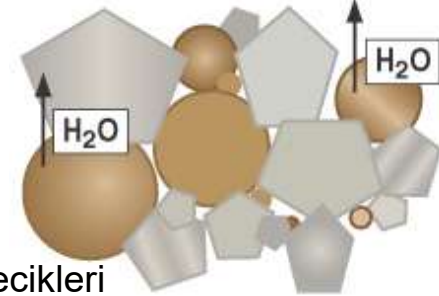
Tanecikler arasında reaksiyon yoktur.



Su tamamen buharlaşmıştır.

Dehidrate kil tanecikleri vardır.

● Kil tanecikleri
▲ Kireçtaşı tanecikleri



900°C'ye kadar

Hammaddeler hala serbest hareket eden toz haldedir.



Tanecikler katıdır.

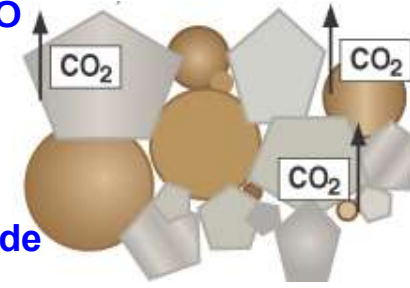
Tanecikler arasında reaksiyon yoktur.



Kalsinasyon devam ettikçe serbest kireç miktarı artar.

Reaktif silis CaO ile reaksiyona girerek C₂S oluşturur.

Kalsinasyonun devam etmesi sıcaklığı 850°C'de tutar.



ÇİMENTO ÜRETİMİ



DÖNER FIRINDAKİ OLUŞAN DEĞİŞİMLER

Döner Fırın En kesiti

1150-1200°C

Tanecikler yapışkan hale gelmeye başlar



Topaklanma işlemi

Katı Tanecikler arasında reaksiyon oluşmaya başlar.

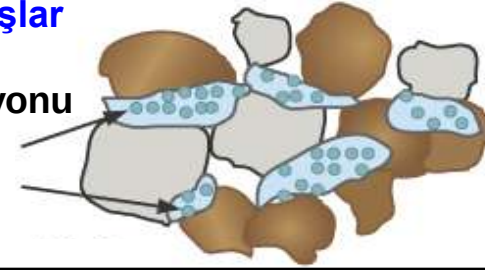


Klinker reaksiyonları

Kalsinasyon sona erince sıcaklık hızla artmaya başlar

Silikatlar ile CaO reaksiyonu sonucu oluşan küçük C_2S kristalleri

Serbest CaO

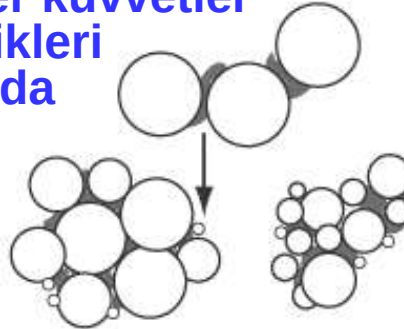


1200-1350°

Agglomerasyon olayı başladığında malzemeler sıvı ile bir arada tutulur. Fırının dönüşü Agglomeraların bütünleşmesini tabakalanmasını başlatır.



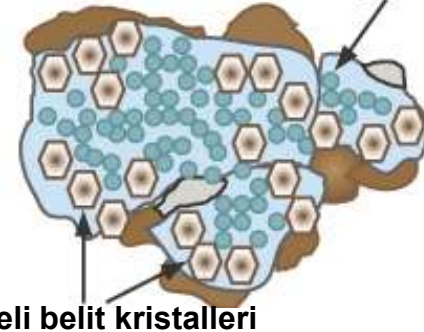
Kapiler kuvvetler tanecikleri birarada tutar



1250°C'nin üzerinde sıvı faz oluşur.

Sıvı C_2S CaO'ın reaksiyona girerek C_3S oluşturmalarına olanak sağlar

Yuvarlak belit kristalleri



köşeli belit kristalleri

ÇİMENTO ÜRETİMİ



DÖNER FIRINDAKİ OLUŞAN DEĞİŞİMLER

Döner Fırın En kesiti

1350-1450°C

Parçalıkların tepeden birlikte düşmeleri nedeniyle Agglomeraleşme ve parçacıkların tabakalanması devam eder.



Topaklanma işlemi

Sıvı faz yeterli ise topaklanma oluşur.

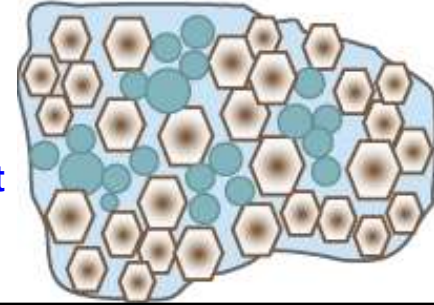
Sıvı faz yetersiz ise tozlu klinker oluşur.



Klinker reaksiyonları

C_2S kristalleri miktar olarak azalır, boyut olarak büyür.

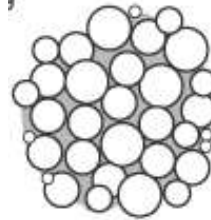
C_3S kristalleri miktar ve boyut olarak artar.



Soğuma

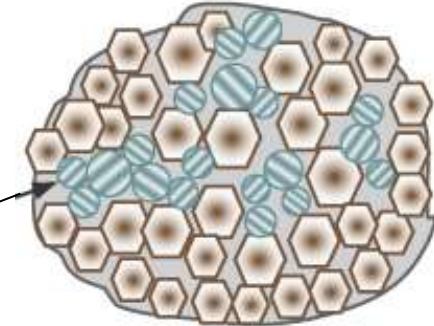


Soğuma sırasında topaklar şekilleri aynen korur.



Soğuma ile birlikte C_3A ve C_4AF sıvı fazda kristalleşir.

lamelli yapı belit kristallerinde görülür



ÇİMENTO



HAMMADDELER

KALKER (KİREÇTAŞI) CaCO_3

KİL Al_2O_3 , SiO_2 , Fe_2O_3



ÇİMENTO KARMA OKSİTLERİ

C_3S ($3\text{CaO}.\text{SiO}_2$)

- **Alite**

C_2S ($2\text{CaO}.\text{SiO}_2$)

- **Belite**

C_3A ($3\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3$)

-

C_4AF ($4\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3.\text{Fe}_2\text{O}_3$)

- **Celite**

ÇİMENTO



HAMMADDELER

KALKER (KİREÇTAŞI) CaCO_3

KİL Al_2O_3 , SiO_2 , Fe_2O_3



ÇİMENTO KARMA OKSİTLERİ

C_3S ($3\text{CaO}.\text{SiO}_2$)

- HIZLI DAYANIM

C_2S ($2\text{CaO}.\text{SiO}_2$)

- YAVAŞ VE SÜREKLİ DAYANIM

C_3A ($3\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3$)

- KİMYASAL ETKİLERE (SÜLFATA) DAYANIKSIZLIK

C_4AF ($4\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3.\text{Fe}_2\text{O}_3$)

- KLİNKERLEŞME SICAKLIĞINI DÜŞÜRME



ÇİMENTONUN HİDRATASYONU

ÇİMENTO HİDRATASYONU



- ✓ Termodinamik yönden çimentodaki karma bileşenler fırında aldıkları yüksek ısı nedeniyle yüksek entropiye sahiptirler.
- ✓ Suyla karşılaşınca bu gizli enerjiyi açığa çıkarırlar ve hidratlaşmaları ekzotermik türdendir.
- ✓ Çimentonun karma bileşenlerinin su ile ayrı ayrı kimyasal reaksiyona girdikleri varsayılır ve hidratasyon sonunda her ana bileşen tarafından değişik hidratasyon ürünleri oluşur.



ÇİMENTO



✓ Çimentonun veya bir bağlayıcı maddenin dayanım kazanması şu üç olayın birbirini izlemesi sonunda meydana gelmektedir.

1. Hidratasyon olayı:

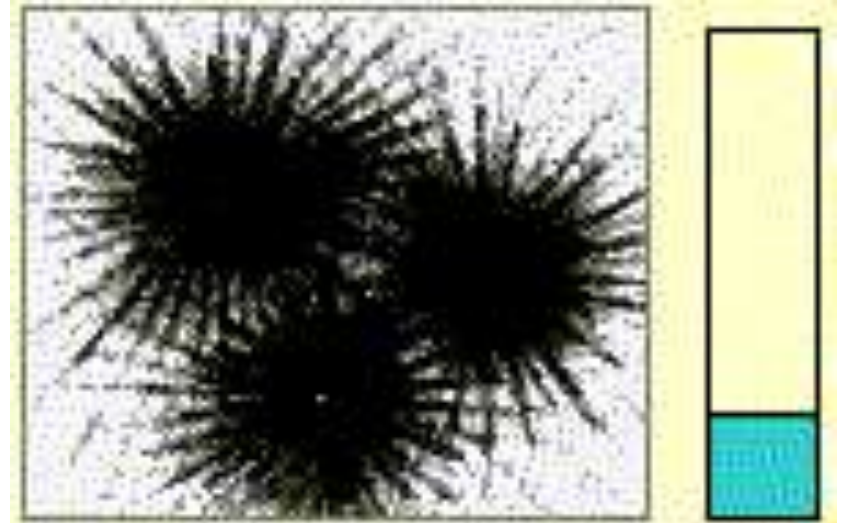
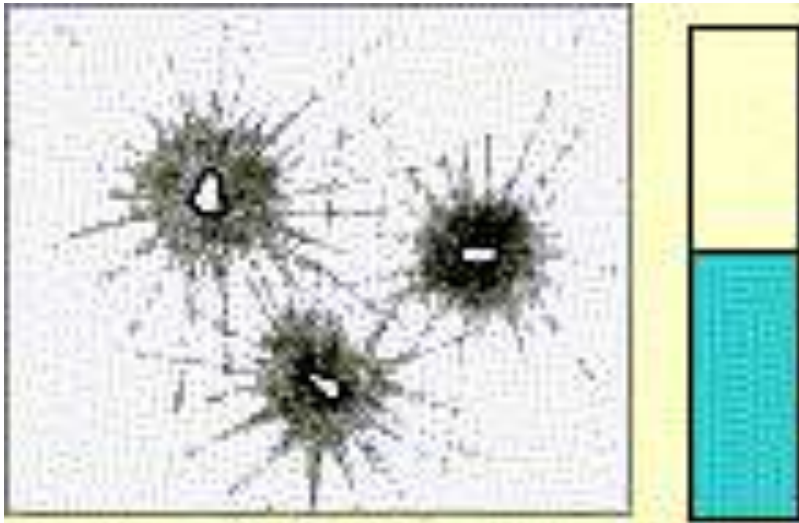
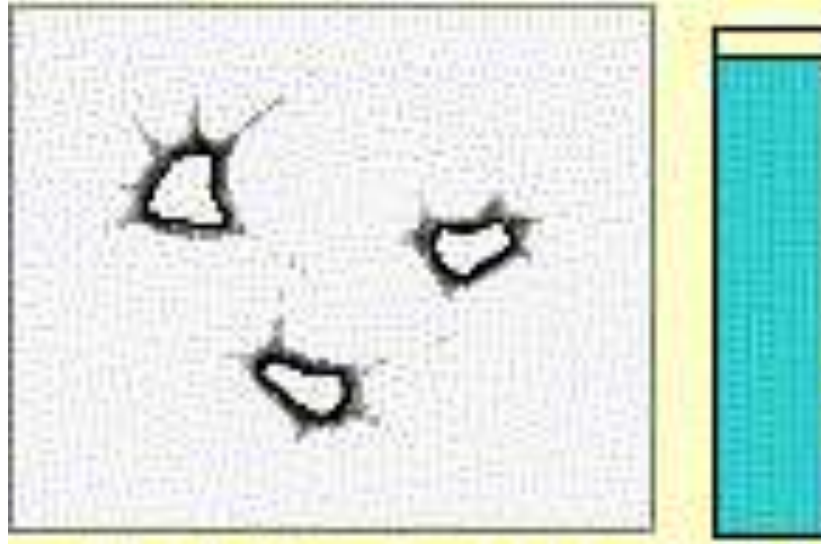
Çimentoyu oluşturan maddelerin su ile yaptığı kimyasal reaksiyondur.

2. Katılaşma olayı: Priz yapma

3. Sertleşme olayı:

Dayanım kazanma şeklinde mekanik bir olaydır.

ÇİMENTO



ÇİMENTO



ÇİMENTO KARMA OKSİTLERİ



- HIZLI DAYANIM



- YAVAŞ VE SÜREKLİ DAYANIM



- KİMYASAL ETKİLERE (SÜLFATA) DAYANIKSIZLIK



- KLİNKERLEŞME SICAKLIĞINI DÜŞÜRME



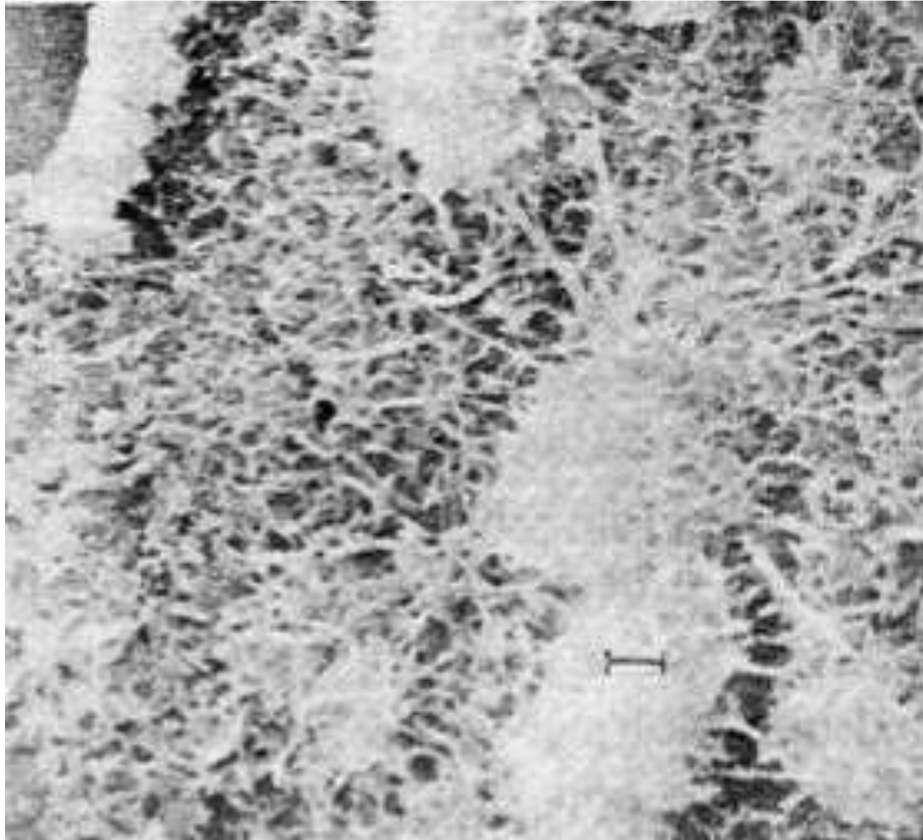
KARMA OKSİTLERİN HİDRATASYON REAKSİYONLARI



ÇİMENTO



- ✓ Çimentoya bağlayıcılık özelliğini kazandıran C-S-H moleküler büyüklükte olup, çimento taneciklerinden yaklaşık 1000 defa daha küçüktür.



ÇİMENTO



KARMA OKSİTLERİN HİDRATASYON REAKSİYONLARI



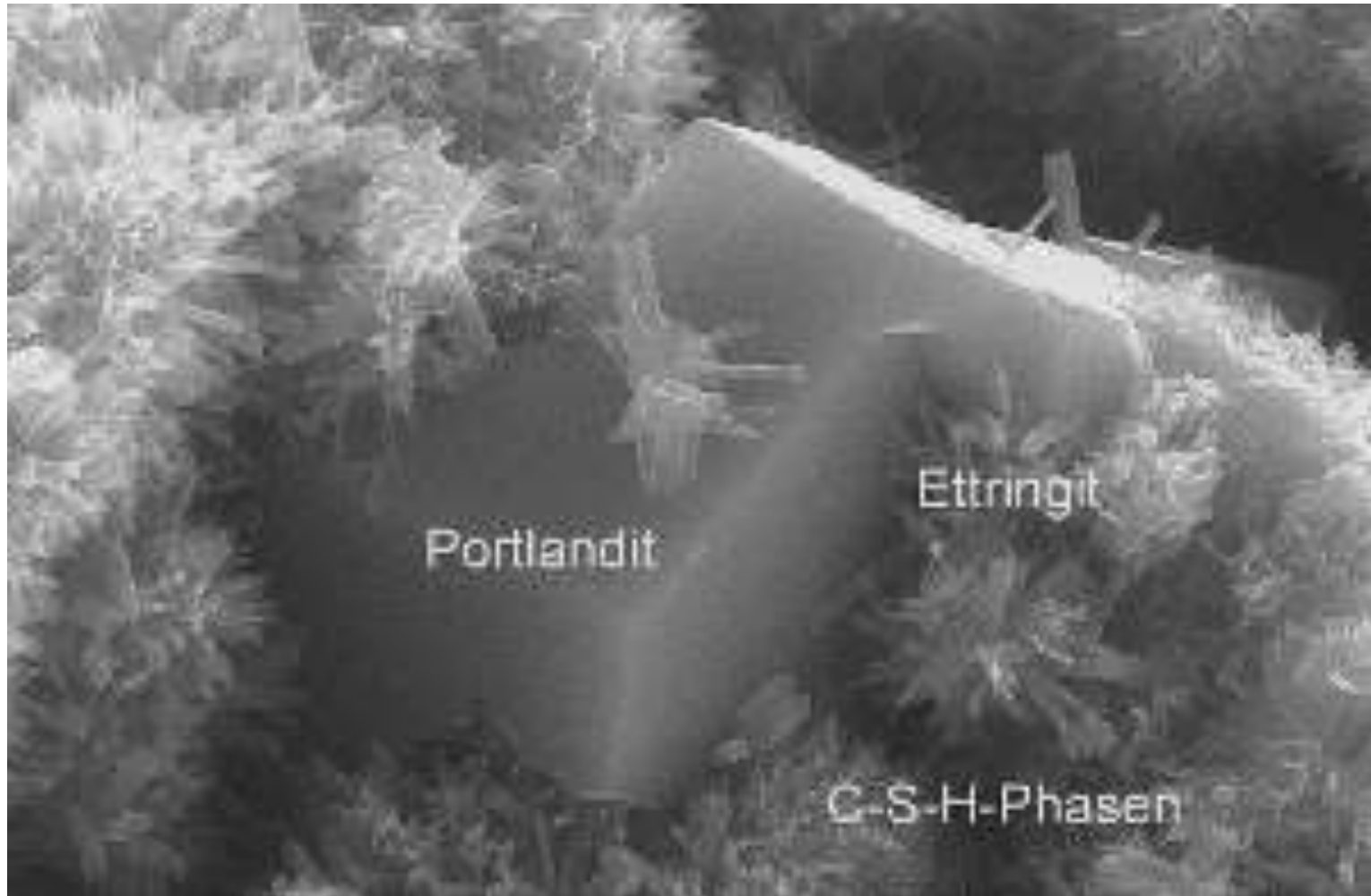
✓ C-S-H jeline “tobermorit” adı verilir.

✓ **Tobermorit** ismi, bu hidratasyon ürününün doğada aynı isimle anılan bir minerale kimyasal bileşim açısından benzemesinden dolayı verilmiştir.

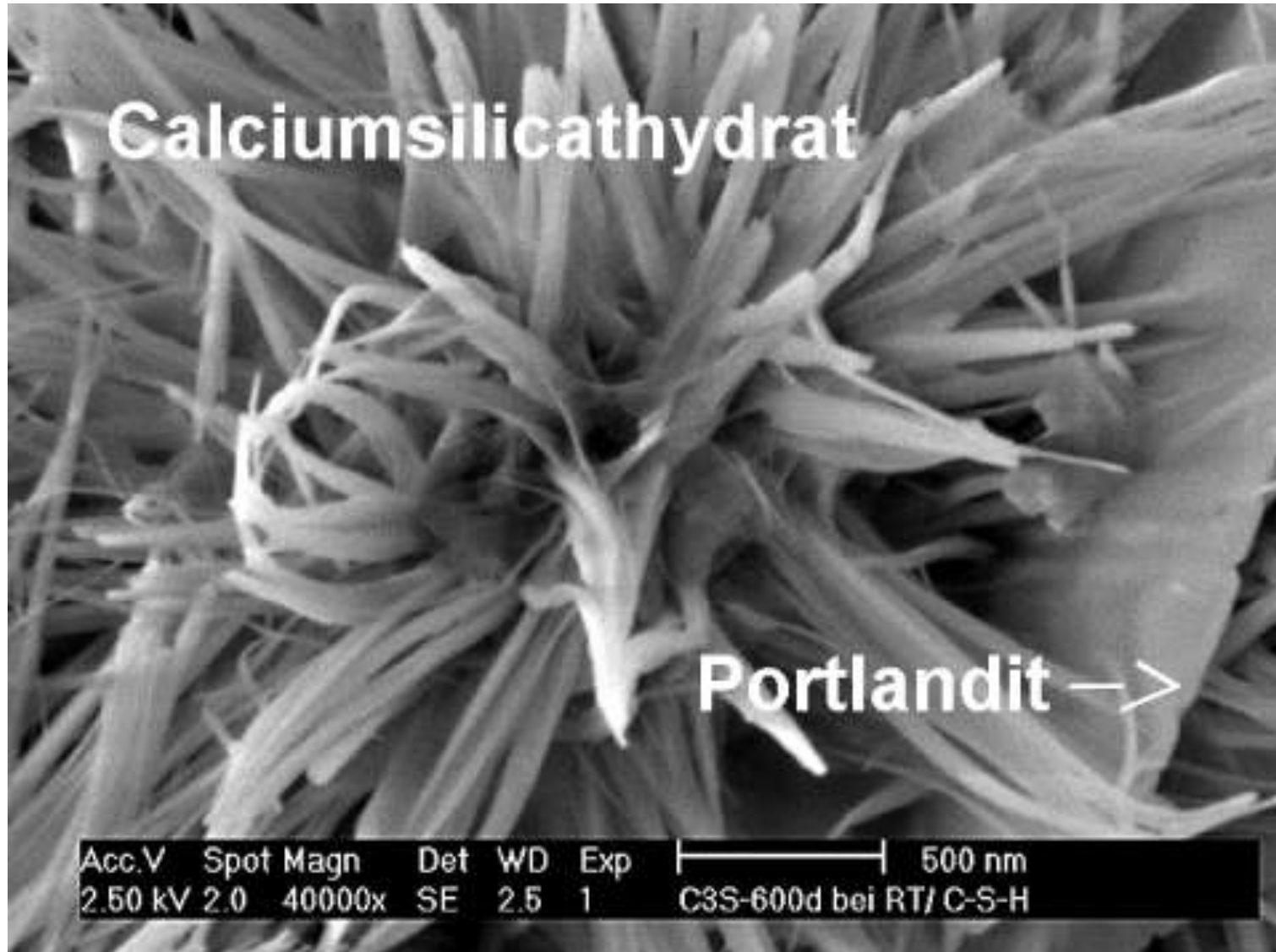
✓ **Jel** sözcüğü ise, kolloidal katı malzeme topluluğunu ifade etmektedir.

✓ $Ca(OH)_2$ ise **portlandit** olarak adlandırılır.

ÇİMENTO



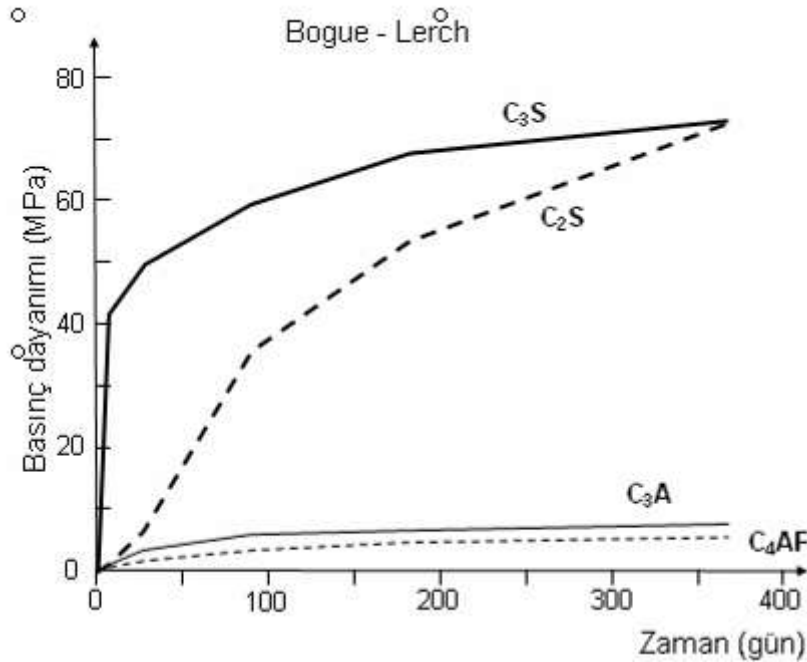
ÇİMENTO



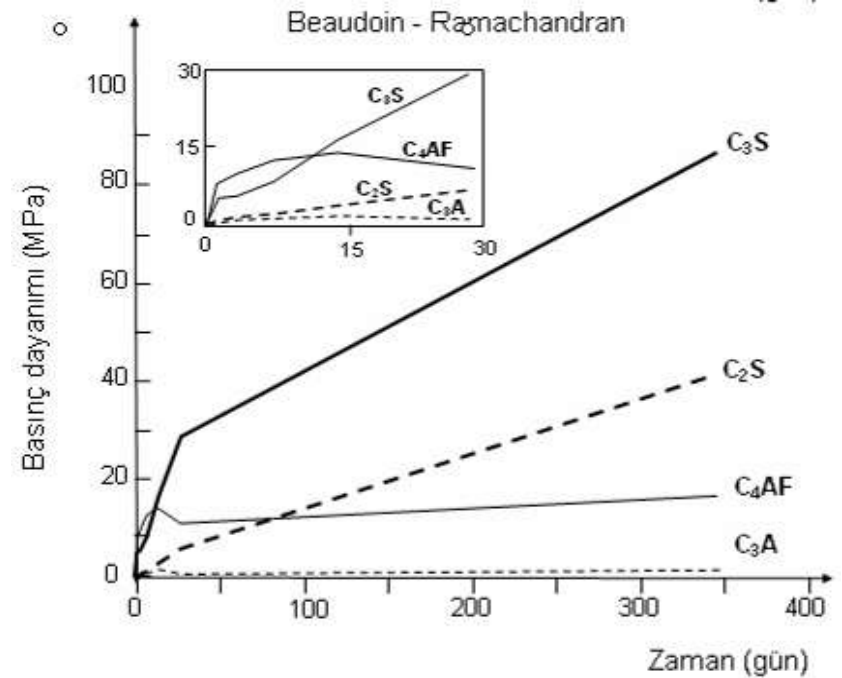
ÇİMENTO



ÇİMENTO KARMA OKSİTLERİ



Bogue-Lerch (1934)
tarafından bulunan
değerler



Beaudoin-Ramachandran
(1992) tarafından bulunan
değerler

ÇİMENTO



ÇİMENTO KARMA OKSİTLERİ

C₃S : Alite



- ✓ C₃S silikatının en önemli özelliği **çimentonun prizini çabuklaştırması ve hızlı dayanım kazandırmasıdır.**

ÇİMENTO



ÇİMENTO KARMA OKSİTLERİ

C_2S : Belite



✓ C_2S silikatının en önemli özelliği **yavaş ama sürekli dayanım** kazandırmasıdır.

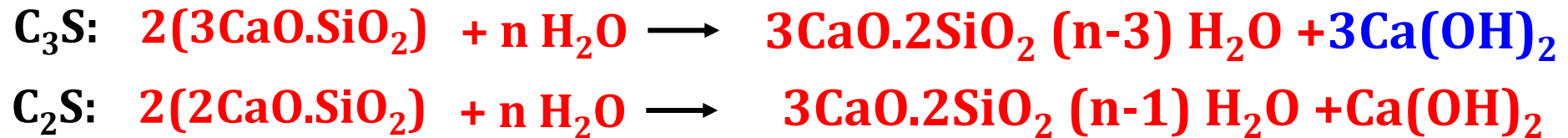
✓ C_3S ve C_2S 'in yaptığı reaksiyon sonucunda C-S-H sembolü ile gösterilen kalsiyum silikat hidrate ile serbest kireç ($Ca(OH)_2$) oluşmaktadır.

ÇİMENTO



ÇİMENTO KARMA OKSİTLERİ

Sönmüş Kireç oluşumu



Olumsuz etki

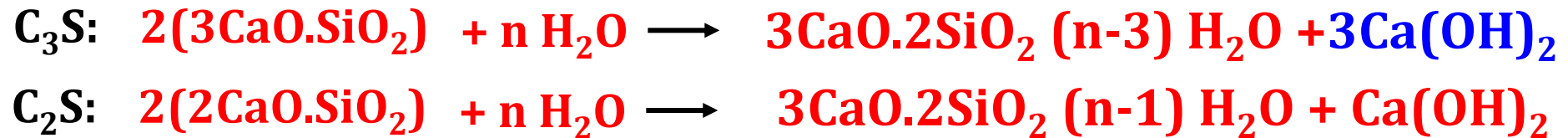
- ✓ Yapı devamlı su içinde bulunuyorsa, beton, Ca(OH)_2 'nin devamlı bir şekilde çözünmesi sonunda gittikçe boşluklu bir hal alacak, ortam koşullarına bağlı olan uzun veya kısa süren bir süre sonunda dayanımının büyük ölçüde azalmasıyla yapının emniyeti tehlikeli bir duruma girecektir.

ÇİMENTO



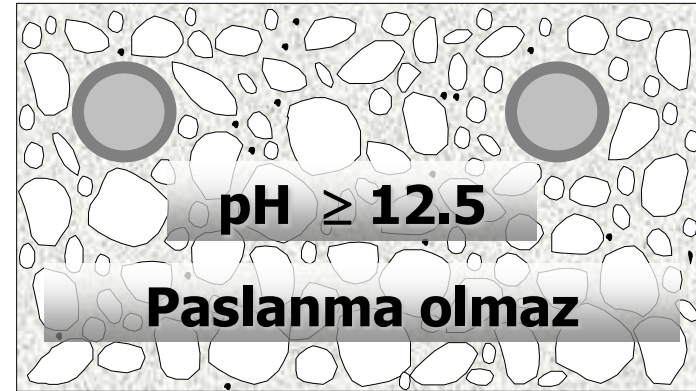
ÇİMENTO KARMA OKSİTLERİ

Sönmüş Kireç oluşumu



Olumlu etki

- ✓ Serbest kirecin varlığı nedeniyle oluşan bazik ortam, çelik donatının paslanmasını engellemektedir.



pH < 9.5 - 11.5 ise
PASLANMA !!
(ORTAMDA O₂ ve SU
MEVCUTSA)

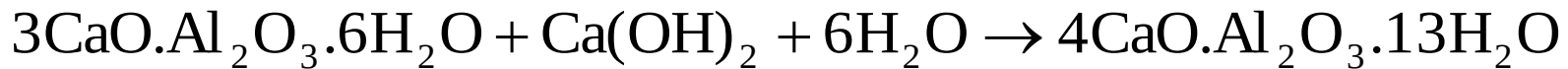
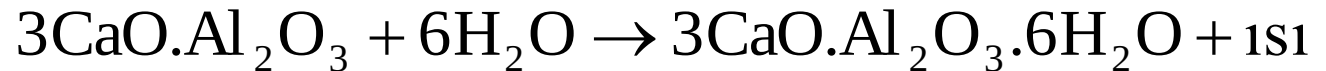


ÇİMENTO



ÇİMENTO KARMA OKSİTLERİ

C₃A



- ✓ C₃A sertleştikten sonra oldukça zayıf dayanımlı bir hidrat oluşur.
- ✓ Prize ilk başlayan öge olan C₃A hızla priz yapıp yüksek hidratasyon ısıyı açığa çıkarır.
- ✓ C₃A'nın hızlı prizi denetim altına alınmazsa, çimento tümüyle katılaşır ve silikatların oluşmasına olanak kalmaz.
- ✓ C₃A'nın priz hızı üretim aşamasında **klinkere katılan alçı taşı** ile yavaşlatır.

ÇİMENTO

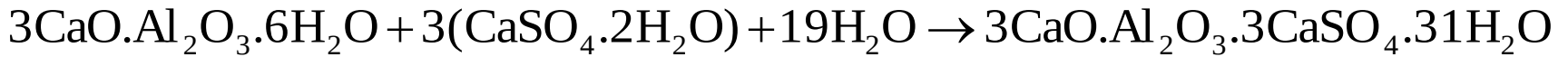


ÇİMENTO KARMA OKSİTLERİ

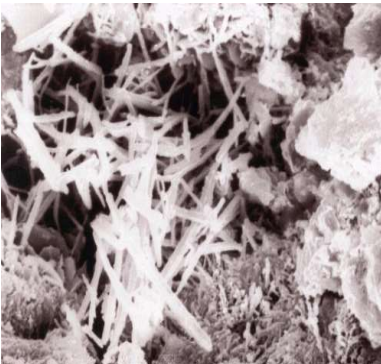
“Candlot tuzu” veya “etrenjit “(ettringite) içerdği çok miktardaki hidrat suyu nedeniyle büyük bir hacim kaplar. Taze betonda ortam sıvı olduğundan sorun olmaz.

C_3A + Alçıtaşı

Etrenjit %227 hacim artışı



✓ Uygun miktarda alçı taşı kullanıldığında, aluminatların yüzeyinde ince iğneler şeklinde **etrenjit (ettringite)** kristalleri meydana gelir.



✓ Bu kristaller o kadar incedir ki hidratasyonun ilk zamanlarında bunlar rijit bir yapı meydana getirmediğinden dolayı priz olayı gerçekleşmez.

ÇİMENTO

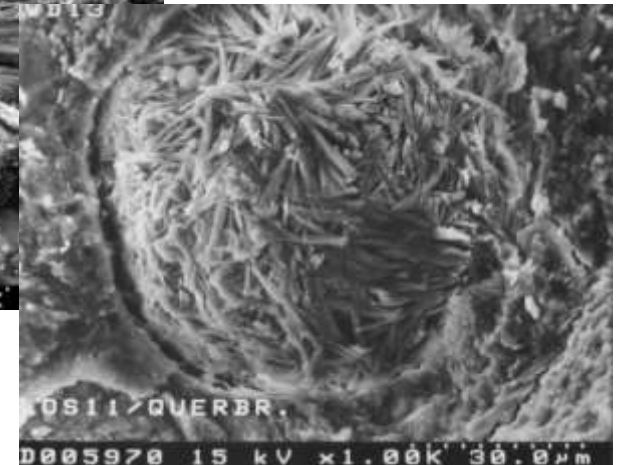
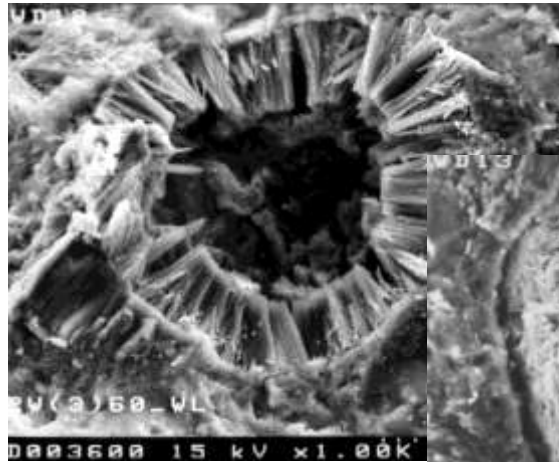
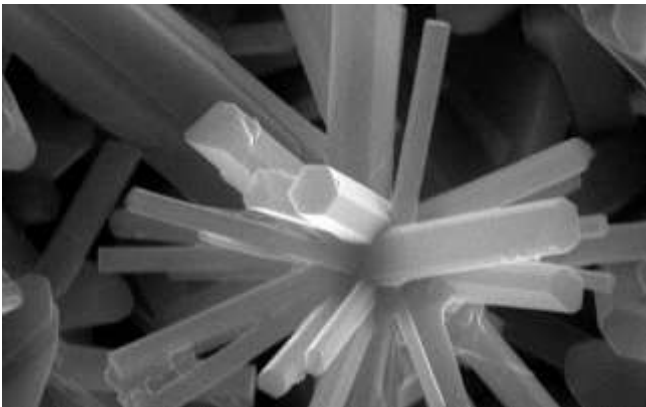
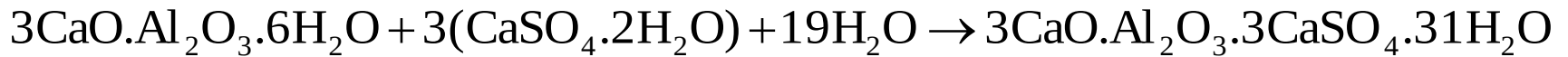


ÇİMENTO KARMA OKSİTLERİ

C_3A

C_3A + Alçıtaşı

Etrenjit %227 hacim artışı



ÇİMENTO



ÇİMENTO KARMA OKSİTLERİ

C_3A

Ani Priz

- ✓ Çimentoya alçı taşı katılmadığı zaman C_3A hızlı bir şekilde hidratasyon yaparak, daha ilk dakikalarda küçük plaklar şeklinde kristalleri meydana getirmek suretiyle priz yapar.
- ✓ Büyük bir ısınin açığa çıkmasıyla oluşan bu olaya “**ani (flash) priz**” denilir.

ÇİMENTO



ÇİMENTO KARMA OKSİTLERİ

C_3A

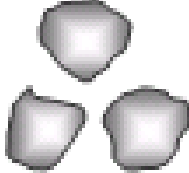
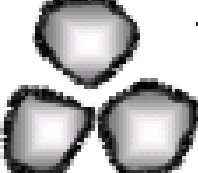
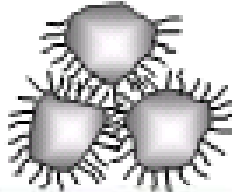
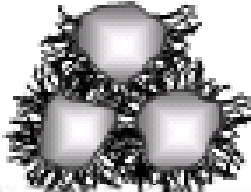
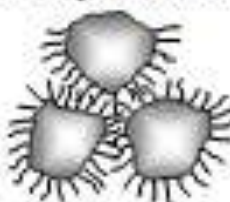
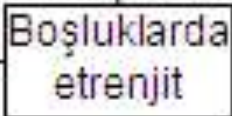
Yalancı Priz

- ✓ Yalancı priz ise **sıcak klinker kullanılması halinde katılan alçı taşının bir kısmının alçıya dönüşmesi** ile olur.
- ✓ Suyla karışan alçı aniden sertleşir. Ancak alçı miktarı az olduğundan tüm kütle sertleşmez.
- ✓ Biraz bekleyip, **uzun süre betonu karıştırarak tekrar yumuşama sağlanabilir.**
- ✓ yalancı priz yapma özelliğine sahip çimentolarla dökülen betonlar çok çabuk katılaşma eğilimi gösterip, beton işçiliğinde zorluklar yaratır.
- ✓ Ayrıca pompa betonlarında borularda tıkanıklıklar yaratır.

ÇİMENTO



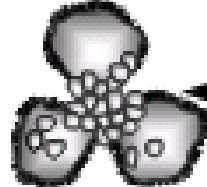
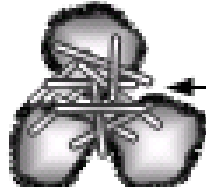
PRİZ OLAYI

Klinkerdeki C_3A 'nın reaktivliği	Sülfatın çözeltide bulunabilirliği	Hidratasyon Süresi			
		< 10 dak.	10 – 45 dak.	1 – 2 saat	2 – 4 saat
1. Durum düşük	düşük	İşlenebilir 	İşlenebilir 	az İşlenebilir 	normal priz 
	yüksek	İşlenebilir 	az İşlenebilir 	normal priz 	Boşluklarda etrenjit 
3. Durum yüksek	düşük	İşlenebilir 	hızlı priz 		

ÇİMENTO



PRİZ OLAYI

Klinkerdeki C_3A 'nın reaktivliği	Sülfatın çözeltide bulunabilirliği	Hidratasyon Süresi			
		≤ 10 dak.	10 – 45 dak.	1 – 2 saat	2 – 4 saat
4. Durum yüksek	Çok düşük veya yok	ani priz 	boşluklardaki C_4AH_{13} ve $C_4A\bar{S}H_{13}$		
		yalancı priz 	alçıtaşı iğneciklerinin boşluklarda kristalizasyonu		

ÇİMENTO



ÇİMENTO KARMA OKSİTLERİ



$C_3A + Cl$ Klor iyonları

✓ Cl^- iyonları betonarme yapılarda donatıya ulaştıkları takdirde klorit korozyonuna sebep olmaktadır.

✓ C_3A 'nın çimentoya sağladığı olumlu bir etki Cl^- iyonlarını bağlama yeteneğine sahip olmasıdır.

✓ C_3A Cl iyonları ile reaksiyona girerek Friedel tuzu oluşturur.



ÇİMENTO



ÇİMENTO KARMA OKSİTLERİ

C_4AF : Celit

- ✓ C_4AF 'nin hidratasyonu, hızı daha küçük olmak üzere C_3A 'nın hidratasyonu gibidir.
- ✓ Hidratasyon reaksiyonu sonunda, alçı miktarının belirli bir değerin altında olmaması halinde sülfo-ferritler elde edilir.
- ✓ Bunlar sülfo-aluminatlarda alumin yerine Fe_2O_3 'in konulmasıyla elde edilen cisimlerdir. Ayrıca alçıtaşının az miktarda olması halinde, C_4AF 'nin hidratasyonu sonunda $(3CaO.Fe_2O_3.H_2O)$, $(CaO.Fe_2O_3.H_2O)$, $(3CaO.Al_2O_3.3.H_2O)$ gibi hidrate bileşimlerin meydana gelme olasılığı vardır.

ÇİMENTO



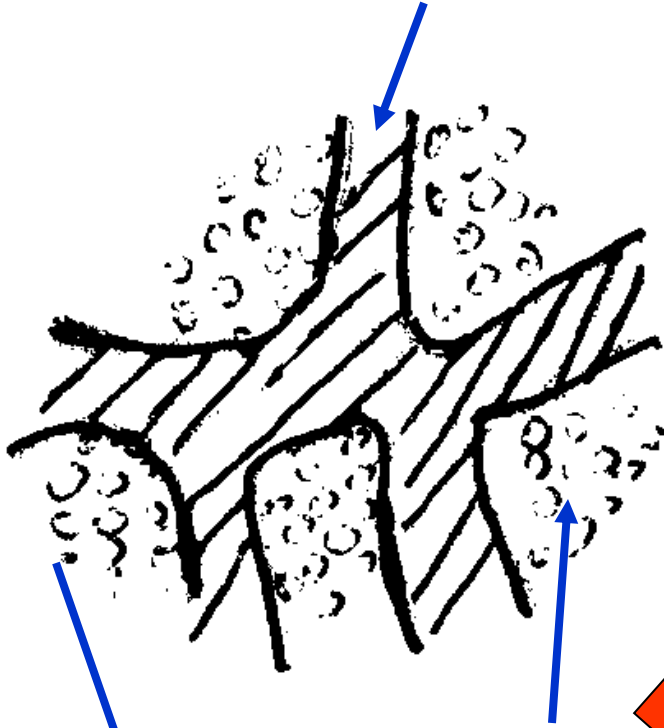
ÇİMENTO KARMA OKSİTLERİ

Bileşen	Hidratasyon Hızı	Bağlayıcılık Değeri	Hidratasyon Isısı	Kimyasal Dayanıklılık
C_3S	İlk hafta hızlı, sonra yavaş	Kuvvetli	Orta	Az
C_2S	İlk hafta yavaş, sonra sürekli artım	Kuvvetli	Az	İyi
C_3A	Ani (İlk dakika)	Zayıf	Çok	Kötü
C_4AF	Ani (İlk dakika)	Zayıf	Orta	İyi

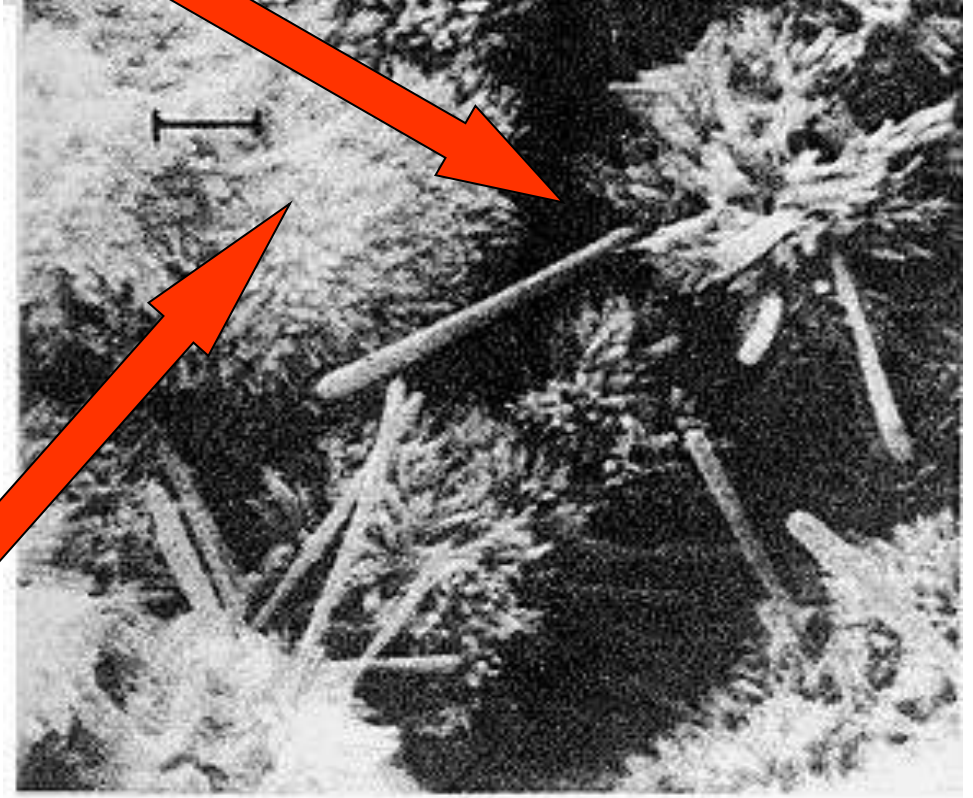
ÇİMENTO



KAPİLER BOŞLUKLAR



JEL BOŞLUKLARI

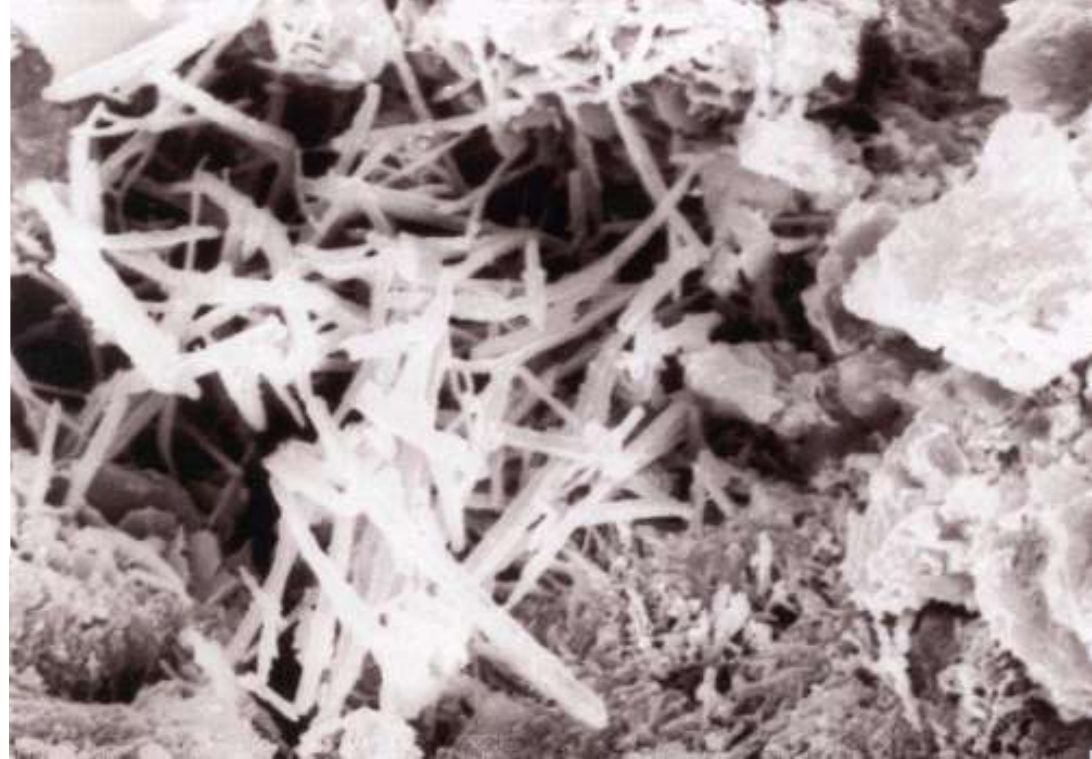
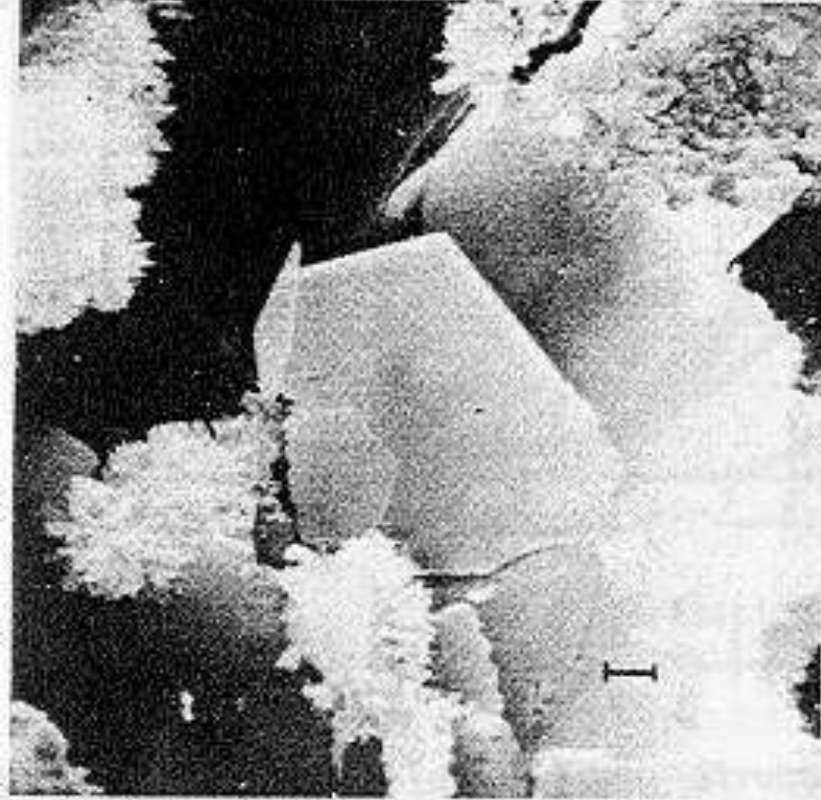


JEL PARTİKÜLLERİ (lifsi Yapı, Amorf, Çapraz Bağlı, 90 Å) CSH + CAH, vb. HİDRATE BİLEŞENLER + Ca(OH)_2 + HİDRATE OLMAMIŞ ÇİMENTO + SU BOŞLUKLARININ BIRAKTIĞI GÖZENEKLER.

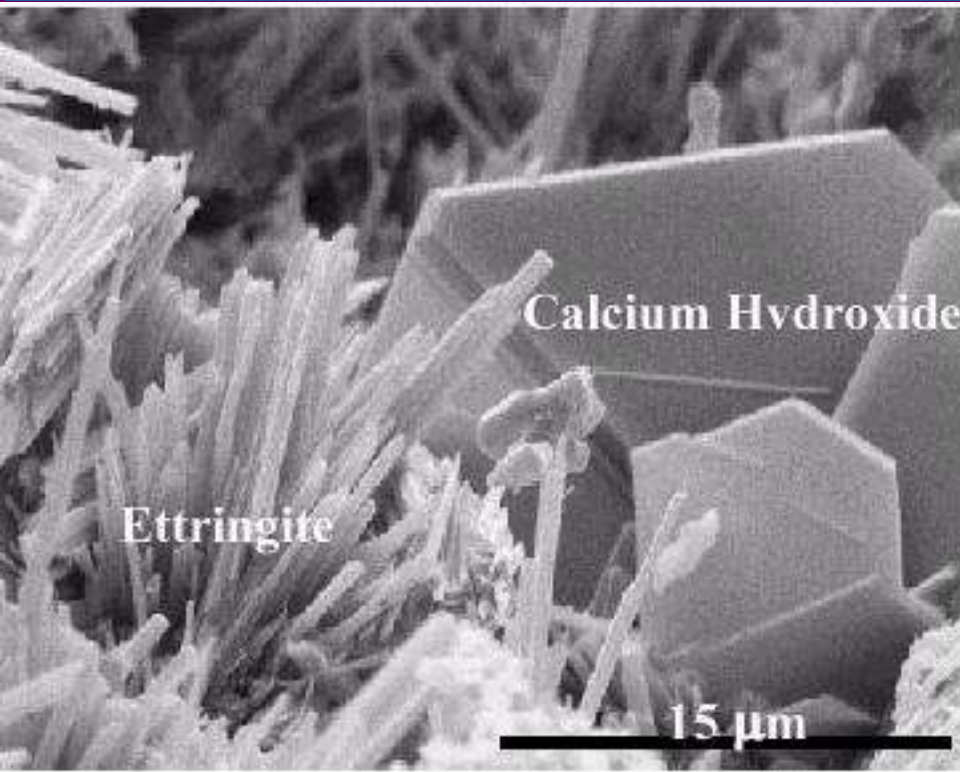
ÇİMENTO



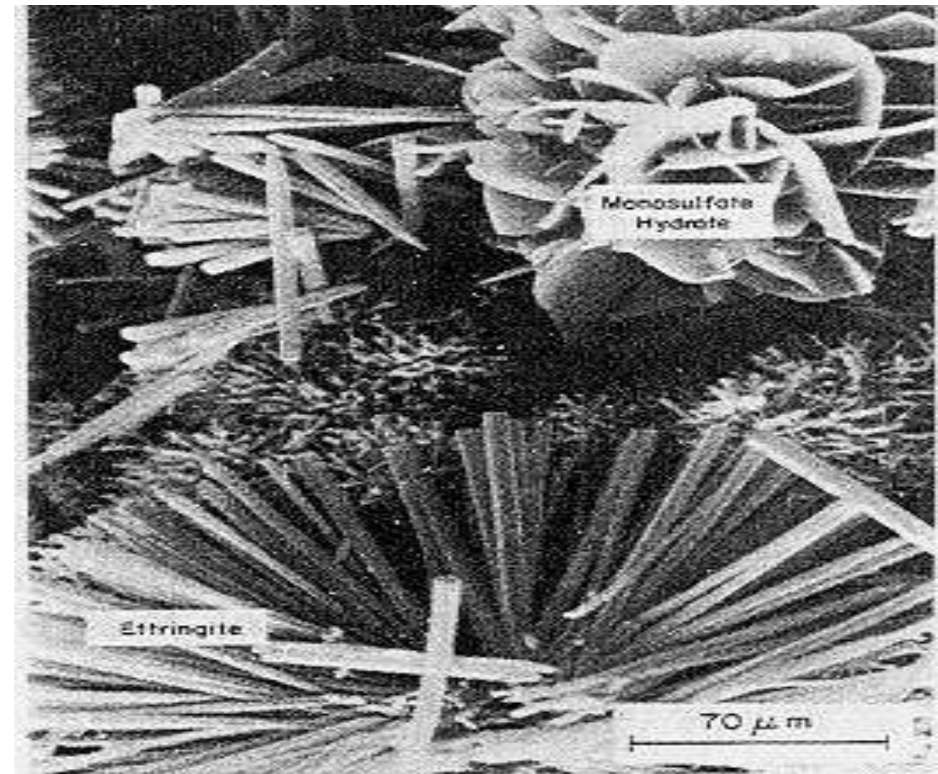
Ca(OH)_2 ve CSH kristalleri
(S/Ç=0.6 24°C'de 5 gün hidrate olmuş)



ÇİMENTO



Monosulfat Alimünat ve etrenjit'in hekzagonal kristal yapısı



ÇİMENTO

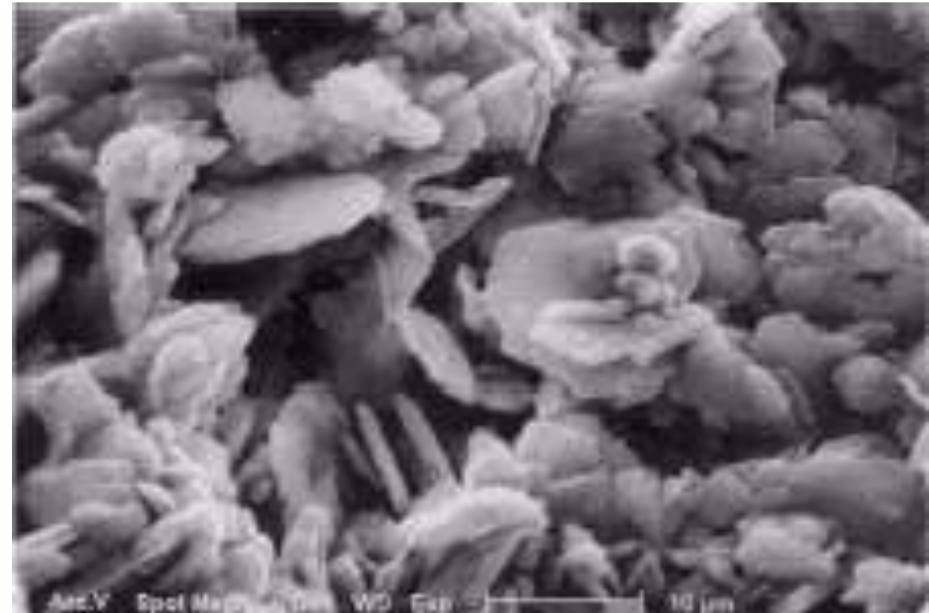


Etreniit



Acc.V Spot Mag Det WD |-----| 30µm
25000 4.8 750 SE 11.6 SMLV18.TIF

Monosülfat



Acc.V Spot Mag Det WD Exp |-----| 10µm

ÇİMENTO



PORTLAND ÇİMENTOSUNUN BİLEŞİMİ

Ana Oksit	Ağırlıkça(%)
✓ Kireç (CaO)	63-67
✓ Silis (SiO_2)	20-25
✓ Alumin (Al_2O_3)	5-9
✓ Demir oksit (Fe_2O_3)	2-4
✓ Magnezi (MgO)	0.5-3
✓ Kükürt trioksit (SO_3)	1-2
✓ Diğer maddeler	0.5-2

ÇİMENTO



KARMA OKSİT MİKTARI HESABI

- ✓ Çimentonun basit oksit değerlerinin bilinmesi davranışı hakkında yeterli bilgi vermez.
- ✓ Çimentonun davranışını etkileyen karma bileşenler “Bogue” formüllerinden yararlanarak hesaplanır.
- ✓ Kesin sonuç vermeyen bu formül dışında, çimento karma bileşenleri X ışını kırılma, optik yöntemler veya elektron mikroskop'u ile inceleme yoluyla da belirlenebilir.

ÇİMENTO



BOUGE FORMÜLLERİ

✓ $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Fe}_2\text{O}_3 \geq 0.64$ olması durumunda

$$C_4\text{AF}(\%) = 3.043\text{Fe}_2\text{O}_3$$

$$C_3\text{A}(\%) = 2.650\text{Al}_2\text{O}_3 - 1.692\text{Fe}_2\text{O}_3$$

$$C_3\text{S}(\%) = 4.071\text{CaO} - 7.600\text{SiO}_2 - 6.718\text{Al}_2\text{O}_3 - 1.43\text{Fe}_2\text{O}_3 - 2.852\text{SO}_3$$

$$C_2\text{S}(\%) = 2.687\text{SiO}_2 - 0.7544C_3\text{S}$$

✓ $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Fe}_2\text{O}_3 < 0.64$ ise $C_3\text{A}$ oluşmaz.

✓ Daha koyu renkteki Ferrari Çimentosu oluşur.

✓ Ayrıca Bogue formüllerini puzolan katkılı çimentolar için kullanmak doğru değildir.

ÇİMENTO



Sayısal Örnek

✓ Aşağıda kimyasal bileşimi ve incelikleri verilen A ve B çimentolarının

	A	B
CaO (%)	61	65
SiO ₂ (%)	23	21
Al ₂ O ₃ (%)	6	9
Fe ₂ O ₃ (%)	4	3
MgO (%)	0.5	0.5
SO ₃ (%)	1	1
Diğer (%)	4.5	0.5
İncelik (cm ² /g)	2880	3160

a) Karma oksit değerlerini BOGUE formülleri ile hesaplayınız.

b) Her iki tip çimentonun zamanla dayanım kazanma oranlarını aynı grafik üzerinde gösteriniz.

c) Söz konusu çimentolardan hangisinin diğerine kıyasla sülfata karşı daha dayanıklı olduğunu nedeni ile açıklayınız.

d) Hangi tip çimentonun hidrasyon ısısının daha yüksek olması beklenir? Neden?

ÇİMENTO



- ✓ Kimyasal raporlarda **kireç standardı, silis modülü, hidrolik modül, alumin modülü** gibi bazı modüller de verilir.

$$\text{Kireç Standardı} = \frac{\text{CaO}}{2.8 \text{ SiO}_2 + 1.1 \text{ Al}_2\text{O}_3 + 0.7 \text{ Fe}_2\text{O}_3} \times 100$$

$$\text{Kireç doygunluk faktörü} = \frac{\text{CaO} + 0.7 \text{ SO}_3}{2.8 \text{ SiO}_2 + 1.1 \text{ Al}_2\text{O}_3 + 0.7 \text{ Fe}_2\text{O}_3} \times 100$$

$$\text{Silis modülü} = \frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3}$$

$$\text{Hidrolik modül} = \frac{\text{CaO}}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3}$$

$$\text{Alumin modülü} = \frac{\text{Al}_2\text{O}_3}{\text{Fe}_2\text{O}_3}$$

- ✓ Kireç standardının % 90-95 arasında, **Silis modülünün 2.2-2.6 arasında, Hidrolik modülün 1.8-2.2, Alümin modülünün 1.5-2.0 arasında değerler alması istenir.**

ÇİMENTO



ÇİMENTODA İZİN VERİLEN DEĞERLER

TS EN 197-1'e göre

- | | |
|------------------------------|--------------------|
| ✓ Klorür muhtevası | % 0.1'den, |
| ✓ SO_3 miktarı | % 3.5 veya %4'den, |
| ✓ çözünmeyen kalıntı miktarı | % 5'den, |
| ✓ kızdırma kaybı | % 5'den, |
| ✓ MgO muhtevası kütlece | %5'den |

fazla olmamalıdır.

ÇİMENTO



ÇİMENTODA İZİN VERİLEN DEĞERLER

Kızdırma kaybı

- ✓ Çimentolarda kızdırma kaybı, çimentonun yüksek sıcaklıkta ($975\pm 25^{\circ}\text{C}$) kızdırılması sonucu **çimentoyu terkeden nem ve karbondioksitten** ileri gelir.
- ✓ Çok az miktardaki su, çimento üretiminde kullanılan alçı taşının ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) bünyesinden ve havadan bir miktar nem alınmasından kaynaklanır.
- ✓ Karbondioksit ise, çimentonun havadan karbondioksit olarak karbonatlaşma yapmasından kaynaklanır.

ÇİMENTO



ÇİMENTODA İZİN VERİLEN DEĞERLER

Çözünmeyen Kalıntı

- ✓ Çözünmeyen kalıntı, **çimento bileşenlerinin oluşumunda görev almayan silis miktarını** ifade eder.
- ✓ Normal olarak çimento bileşenleri hidroklorik asit içerisinde çözünmesine rağmen, sadece silis bu asit içerisinde çözünmez.
- ✓ Çözünmeyen kalıntı yüzdesi, **çimento üretiminde kimyasal reaksiyonların tam olarak gelişip gelişmediğini** göstermesi bakımından önemlidir.



ÇİMENTOLARIN GENEL ÖZELLİKLERİ ve DENEYLERİ

ÇİMENTOLARIN GENEL ÖZELLİKLERİ ve DENEYLERİ



ÇİMENTOLARIN İNCELİĞİ

- ✓ Çimento tanelerinin aktifliği ve hidratasyon sonucu daha yüksek dayanımlar verebilmesi ince öğütölmelerine bağılıdır.
- ✓ Çimentolarda tane boyutları genel olarak 6.5 - 90 mikron arasında bulunur. Çoğunluğu 30 mikron civarındadır.
- ✓ Hidratasyon olayının gelişebilmesi ve bağlayıcılık özelliğinin artması için çimentolarda boyutları **74 mikrondan büyük tanelerin oranının % 14'ü geçmemesi** istenir.

ÇİMENTOLARIN GENEL ÖZELLİKLERİ ve DENEYLERİ



ÇİMENTOLARIN İNCELİĞİ

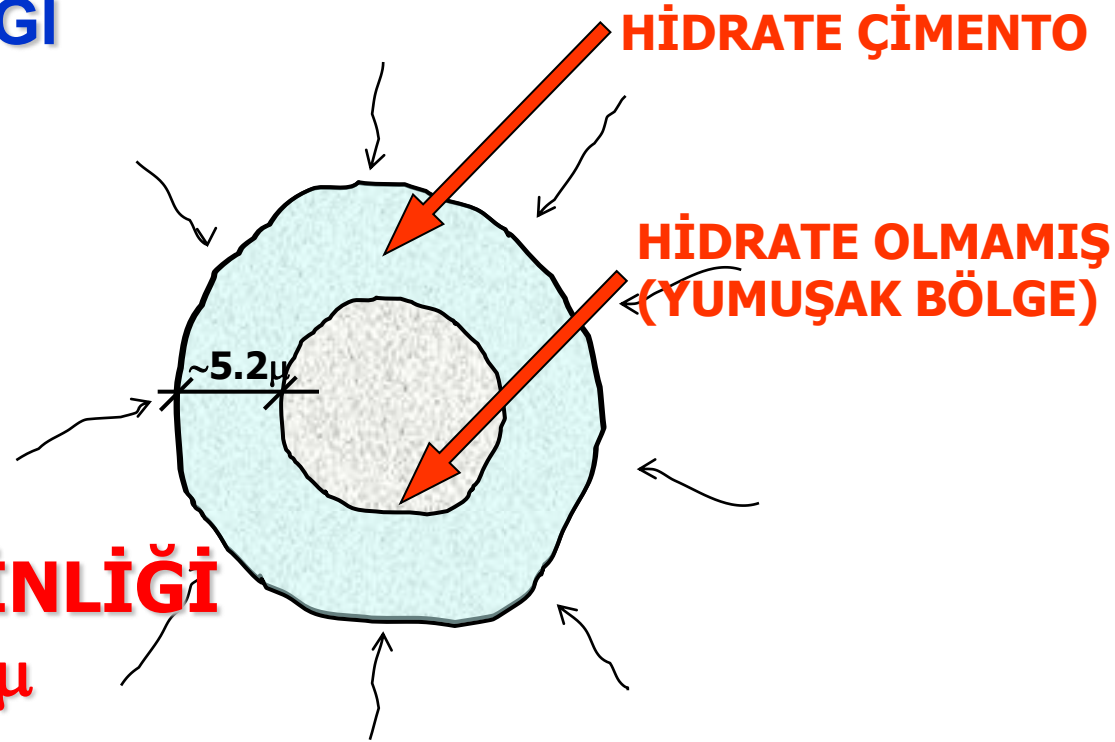
HİDRATASYON DERİNLİĞİ

HİDRATE OLMAMIŞ
ÇİMENTO TANECİĞİ

ORTALAMA ÇAP

$$D = 30\mu$$

HİDRATASYON DERİNLİĞİ
ÜÇ AYDA $\sim 5.2\mu$



ÇİMENTOLARIN GENEL ÖZELLİKLERİ ve DENEYLERİ



ÇİMENTOLARIN İNCELİĞİ DENEYLERİ

✓ Çimentoların bu özelliği değişik yöntemlerle saptanır.



✓ Bunlardan biri çimentoyu TS EN 196-6 standardında belirtilen 90 μm göz açıklıklı elekten eleyerek, bu çaptan büyük tanelerin miktarını saptamaktır.

ÇİMENTOLARIN GENEL ÖZELLİKLERİ ve DENEYLERİ



ÇİMENTOLARIN İNCELİĞİ DENEYLERİ



✓ Diğer yöntem “ölgöl yüzey alanı” yöntemidir. (TS EN 196-6 ve ASTM C 204)

✓ Ölgöl alan 1 g çimento da bulunan taneciklerin yüzey alanlarının kapsadığı toplam yüzey alanıdır, cm^2/g olarak gösterilir. Blaine sayısının $3000 \text{ cm}^2/\text{g}$ civarında olması istenir.

✓ Deney, standart koşullarda sıkıştırılan çimento tabakasından, havanın geöme zamanını ölçme esasına dayanır.

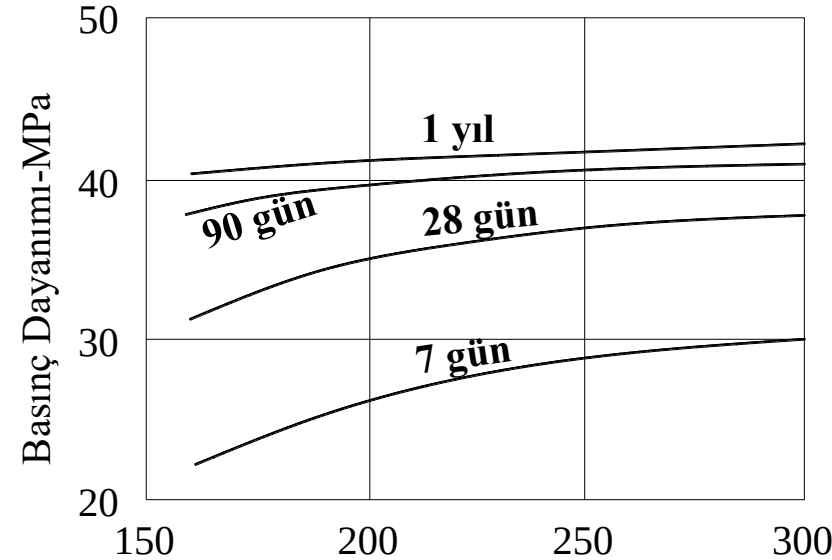
ÇİMENTOLARIN GENEL ÖZELLİKLERİ ve DENEYLERİ



ÇİMENTOLARIN İNCELİĞİ DENEYLERİ

✓ İnceliğin betona olumlu ve olumsuz etkileri:

- a) İncelik betonun dayanımını arttırır.
- b) Çimentoyu ıslatmak için gerekli su miktarı artar.
- c) Fiziko-kimyasal bir olay olan ilk ıslanmada, taneler inceldikçe daha büyük ısı ortaya çıkar.
- d) Daha fazla büzölmeye neden olur ve çatlamaya eğilimi fazladır
- e) İnce çimentolu karışımların terlemesi daha azdır.



ÇİMENTOLARIN GENEL ÖZELLİKLERİ ve DENEYLERİ



ÇİMENTOLARIN PRİZ SÜRESİ

- ✓ Çimentonun su ile birleştirildiği an ile çimento hamurunun katılaşarak plastik özelliğini kaybettiği an arasındaki süreye “**priz alma süresi**” denilmektedir.
- ✓ Bu olayın başlangıç ve bitiş saatleri, çalışma saatleri açısından çok önemlidir.
- ✓ Normal Portland çimentolarında prizin, 1 saatten önce başlamaması ve 10 saatten önce tamamlanması istenir.

ÇİMENTOLARIN GENEL ÖZELLİKLERİ ve DENEYLERİ



ÇİMENTOLARIN PRİZ SÜRESİ

- ✓ Priz özelliğine bağlı olarak çimentoların kullanım yerleri farklıdır.
- ✓ Örneğin, su kaçaklarını önlemek amacıyla hızlı priz yapan (8 - 15 dakika arası) çimentolar kullanılır.
- ✓ İçine alçı taşı konulmadan üretilen bazı çimentolar çok kısa sürede (8-15 dakika) priz yaparlar.

ÇİMENTOLARIN GENEL ÖZELLİKLERİ ve DENEYLERİ



ÇİMENTOLARIN PRİZ SÜRESİ

✓ Çimentoların priz süreleri şu faktörlerin etkisindedir:

✓ **Sıcaklık:**

Sıcak ortamlarda priz süresi, hidrasyon olayı hızlandığı için kısalır. Sıcaklığın düşmesi ise priz süresini uzatır.

✓ **Karıştırma suyu miktarı:**

Fazla miktarda su kullanmak bağlayıcı maddenin priz süresinin uzamasına yol açar.

✓ **Çimentonun bekletilme süresi:**

Uzun süre bekletilmiş çimentolarda dış ortamdan alınan nem nedeniyle priz geç başlar.

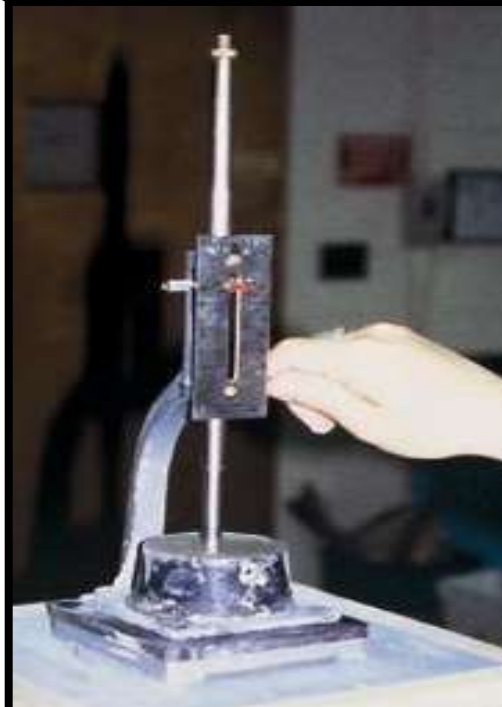
ÇİMENTOLARIN GENEL ÖZELLİKLERİ ve DENEYLERİ



ÇİMENTOLARIN PRİZ SÜRESİ



- ✓ Çimentoların priz süreleri "**Vicat iğnesi**" adı verilen alet ile saptanır.



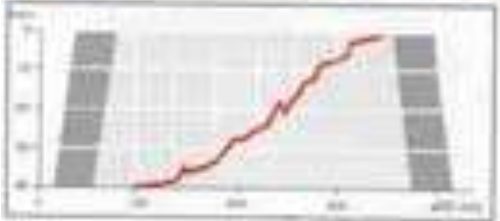
- ✓ özel hazırlanmış normal kıvamdaki standart çimento hamuru, standart bir kap içine (Vicat halkası) düzgün bir şekilde yerleştirilir.

- ✓ Priz sürelerinin belirlenmesi için kullanılacak yöntemler TS EN 196-3'de ve ASTM C 191'de belirtilmiştir.

ÇİMENTOLARIN GENEL ÖZELLİKLERİ ve DENEYLERİ



ÇİMENTOLARIN PRİZ SÜRESİ



- ✓ Daha sonra Vicat iğnesi denilen standart bir iğne kendi ağırlığı ile belirli yükseklikten üzerine düşürülür. Batma miktarları ölçülür.
- ✓ İğne ucunun kalıbın tabanından **3-5 mm** uzaklıkta olması halinde, **priz başlamış** demektir.
- ✓ İğne **0.5 mm** battığı zaman ise **priz sona** ermiştir.

ÇİMENTOLARIN GENEL ÖZELLİKLERİ ve DENEYLERİ



ÇİMENTOLARIN PRİZ SÜRESİ

- ✓ Vicat iğnesi aletinin değişik ve otomatik olanları da bulunmaktadır.



ÇİMENTOLARIN GENEL ÖZELLİKLERİ ve DENEYLERİ



ÇİMENTOLARIN HİDRATASYON ISISI

- ✓ Çimentoyu oluşturan ana bileşenlerin su ile yaptıkları kimyasal reaksiyon nedeniyle bir miktar ısı açığa çıkarırlar.
- ✓ Hidratasyon ısısının açığa çıkma hızı, çimento bileşenleri ile su arasında yer alan kimyasal reaksiyonların hızına bağlıdır ve hidratasyonu etkileyen en önemli faktör zamandır.
- ✓ Çıkan ısı nedeniyle betonun sıcaklık derecesi artar. Hidratasyonun bu ekzotermik davranışı, hidratasyon ısısının açığa çıkma hızı ve miktarı bakımından bir çok sakıncalı durum oluşturabilir.

ÇİMENTOLARIN GENEL ÖZELLİKLERİ ve DENEYLERİ



ÇİMENTOLARIN HİDRATASYON ISISI



- ✓ Özellikle barajlar gibi büyük kütle betonlarının üretiminde iş gereği hızlı beton üretimlerinde sorun önemlidir.
- ✓ Büyük kütle betonlarında iç sıcaklık yükselir, hava ile temasta bulunan dış kısım soğur ve büzülür.
- ✓ Büyük kütle ise dış kısmın büzülmesini önlemeye çalışacağından, sıcaklık farklarının yol açtığı gerilmeler sonucunda beton çatlar.

ÇİMENTOLARIN GENEL ÖZELLİKLERİ ve DENEYLERİ



ÇİMENTOLARIN HİDRATASYON ISISI

- ✓ Çimentonun inceliği hidratasyon ısını arttıran bir faktördür. Ancak çimentonun karma bileşenlerinde hidratasyon ısı üzerine etkisi önemlidir.

Karma bileşen	İlk 48 saatte çıkan ısı (cal/g)	Toplam ısı (cal/g)
C_3A	150	207
C_3S	100	120
C_2S	10	62
C_4AF	40	100

ÇİMENTOLARIN GENEL ÖZELLİKLERİ ve DENEYLERİ



ÇİMENTOLARIN HİDRATASYON ISISI

- ✓ Çimentoların hidrasyon ısıları ise kalorimetre cihazı ile ölçülebilmektedir.



ÇİMENTOLARIN GENEL ÖZELLİKLERİ ve DENEYLERİ



ÇİMENTOLARIN HİDRATASYON ISILARINA GÖRE SIRALAMASI



- ✓ Alüminli çimento (düşük sıcaklıktan en az zarar gören)
- ✓ Yüksek mukavemetli Portland çimentoları
- ✓ Normal Portland Çimentosu
- ✓ Curuf çimentosu ve diğer puzolanlı çimentolar (soğuktan en fazla zarar gören)

ÇİMENTOLARIN GENEL ÖZELLİKLERİ ve DENEYLERİ



ÇİMENTOLARIN ÖZGÜL AĞIRLIĞI

- ✓ Çimentoların özgül ağırlığı tiplerine göre değişir.
- ✓ Normal portland çimentosunun özgül ağırlığı 3.10-3.15, katkılı (traslı ve curufllu) çimentoların ise 2.90 civarındadır.
- ✓ Çimentonun özgül ağırlığı Le Chatelier balonu adı verilen özel bir cam kap içinde gazyağı kullanılarak belirlenir.



ÇİMENTOLARIN GENEL ÖZELLİKLERİ ve DENEYLERİ



ÇİMENTOLARIN MEKANİK DAYANIMI



✓ Hidratasyon olayının seyrini değiştiren bütün faktörler çimentonun dayanımı üzerine de etkilidir.

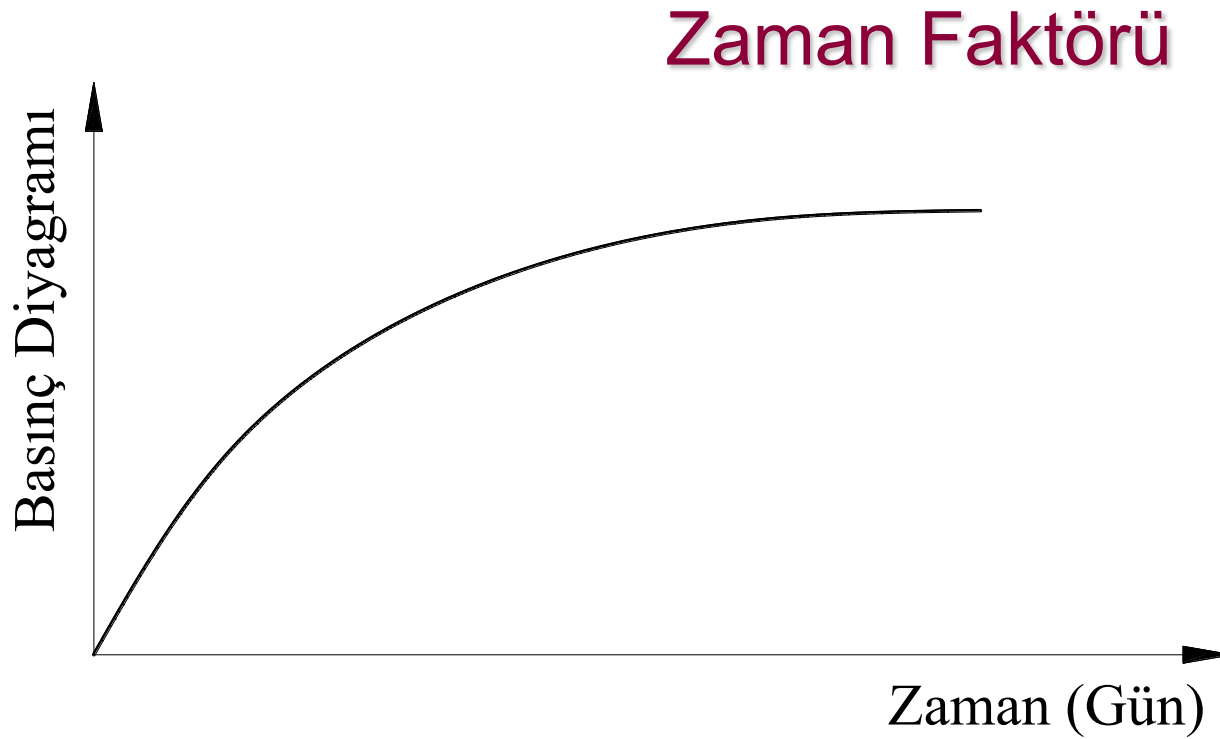
✓ Çimentonun dayanımını etkileyen faktörler:

- a) Zamana ait faktörler
- b) Çimento özellikleri
- c) Ortam koşulları ile ilgili faktörler

ÇİMENTOLARIN GENEL ÖZELLİKLERİ ve DENEYLERİ



ÇİMENTOLARIN MEKANİK DAYANIMI



$$f = a + b \ln t$$

Bağıntı 500 güne kadar anlamlı

ÇİMENTOLARIN GENEL ÖZELLİKLERİ ve DENEYLERİ



DAYANIMI ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Çimento özelliklerinin dayanım üzerine etkileri

- ✓ ÇİMENTO TİPİ
- ✓ ÇİMENTO İNCELİĞİ
- ✓ MİNERAL KATKILAR
- ✓ KİMYASAL KATKILAR

ÇİMENTOLARIN GENEL ÖZELLİKLERİ ve DENEYLERİ



DAYANIMI ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Ortam koşullarının dayanıma etkisi

✓ SICAKLIK

✓ BAĞIL NEM

} Kür koşulları

ÇİMENTOLARIN GENEL ÖZELLİKLERİ ve DENEYLERİ



DAYANIMI ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Ortam koşullarının dayanıma etkisi

Nem ve rüzgar: Ortamın nemi düşük ve aşırı rüzgarlı ise hızlı buharlaşmaya neden olur.

Sonuç : Hidratasyon için gerekli yeterli su olmazsa, hidratasyon yavaşlar veya duraklar. Beton dayanımındaki artış hızı azalır veya tamamen durur.

SICAKLIK ETKİSİ



EN UYGUN SICAKLIK

NORMAL BETONDA

10 - 15°C

BARAJ vb KÜTLE BETONLARINDA

5 - 10°C

SICAKLIK > 32°C

veya SICAKLIK < 5°C ise

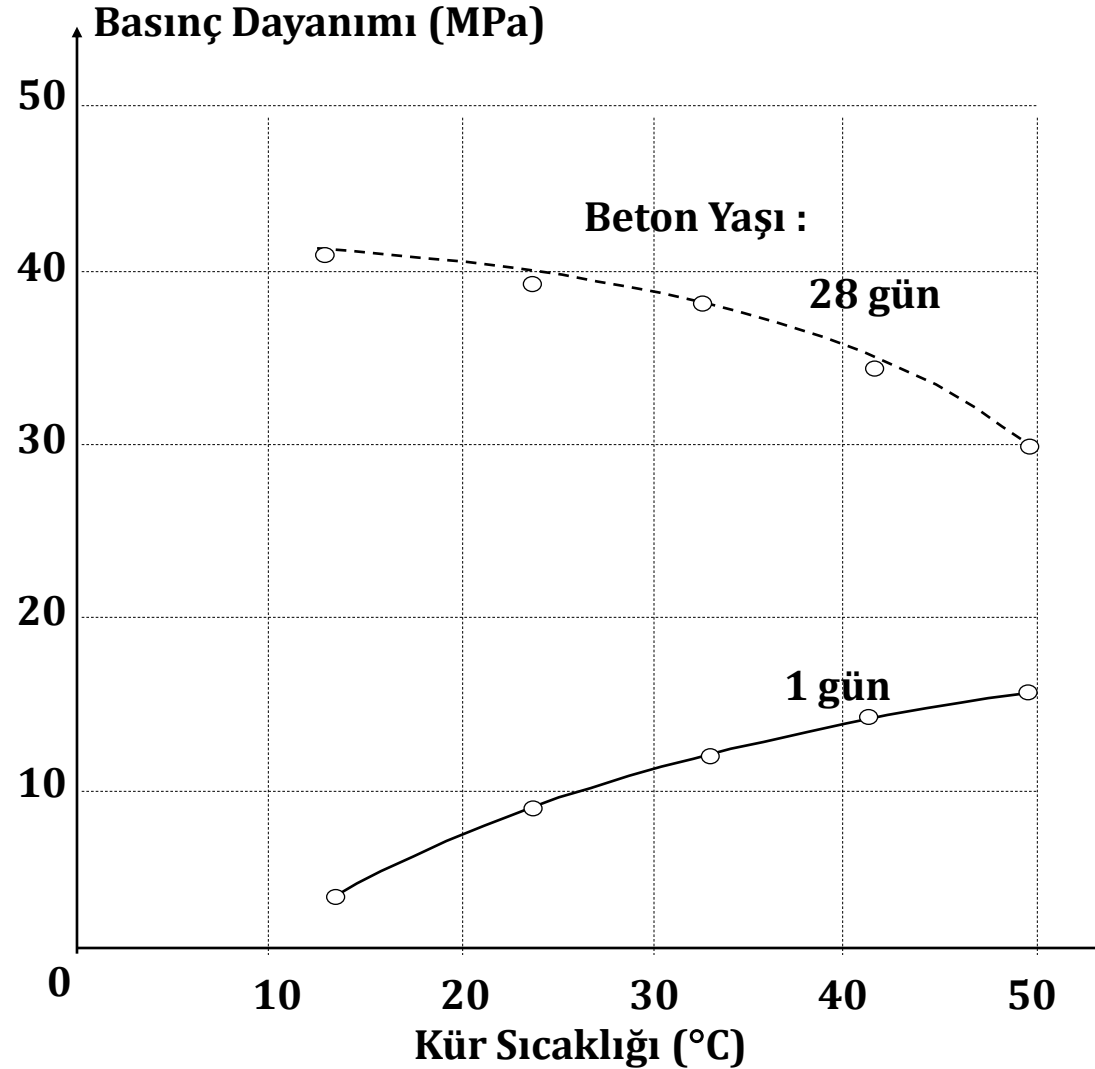
ÖNLEM ALINMALIDIR.

SICAKLIK ETKİSİ



Döküm ve sertleşme sırasında yüksek sıcaklıklar erken dayanımları artırmakla birlikte ileriki yaşlardaki dayanımları düşürmektedir.

Nedeni: Hızla erken gelişen hidrasyonun daha zayıf bir yapı oluşturmasıdır.

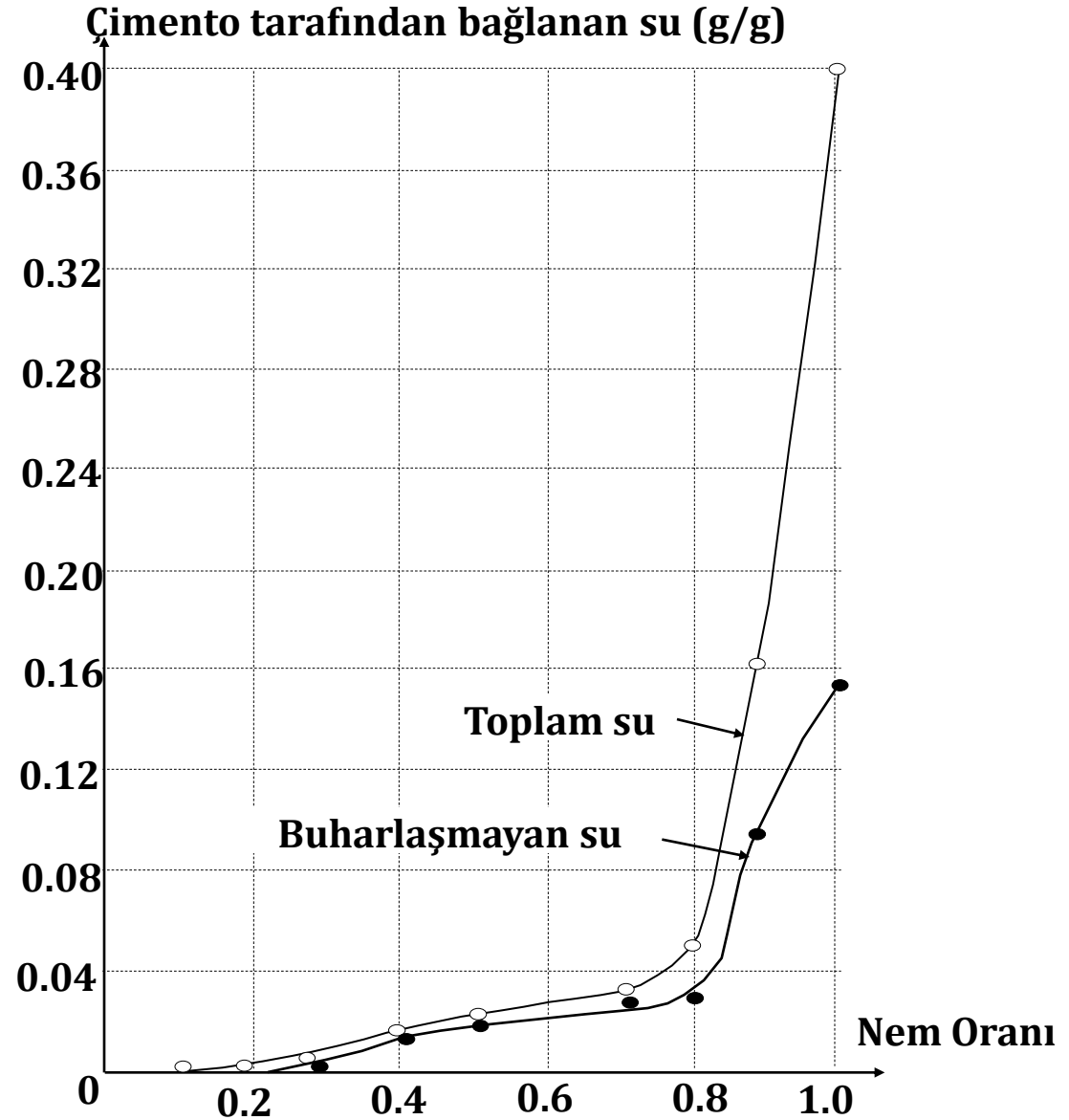


NEM ETKİSİ



Çimentonun hidrasyonun sürekli olabilmesi için ortamda suyun bulunması gerekmektedir.

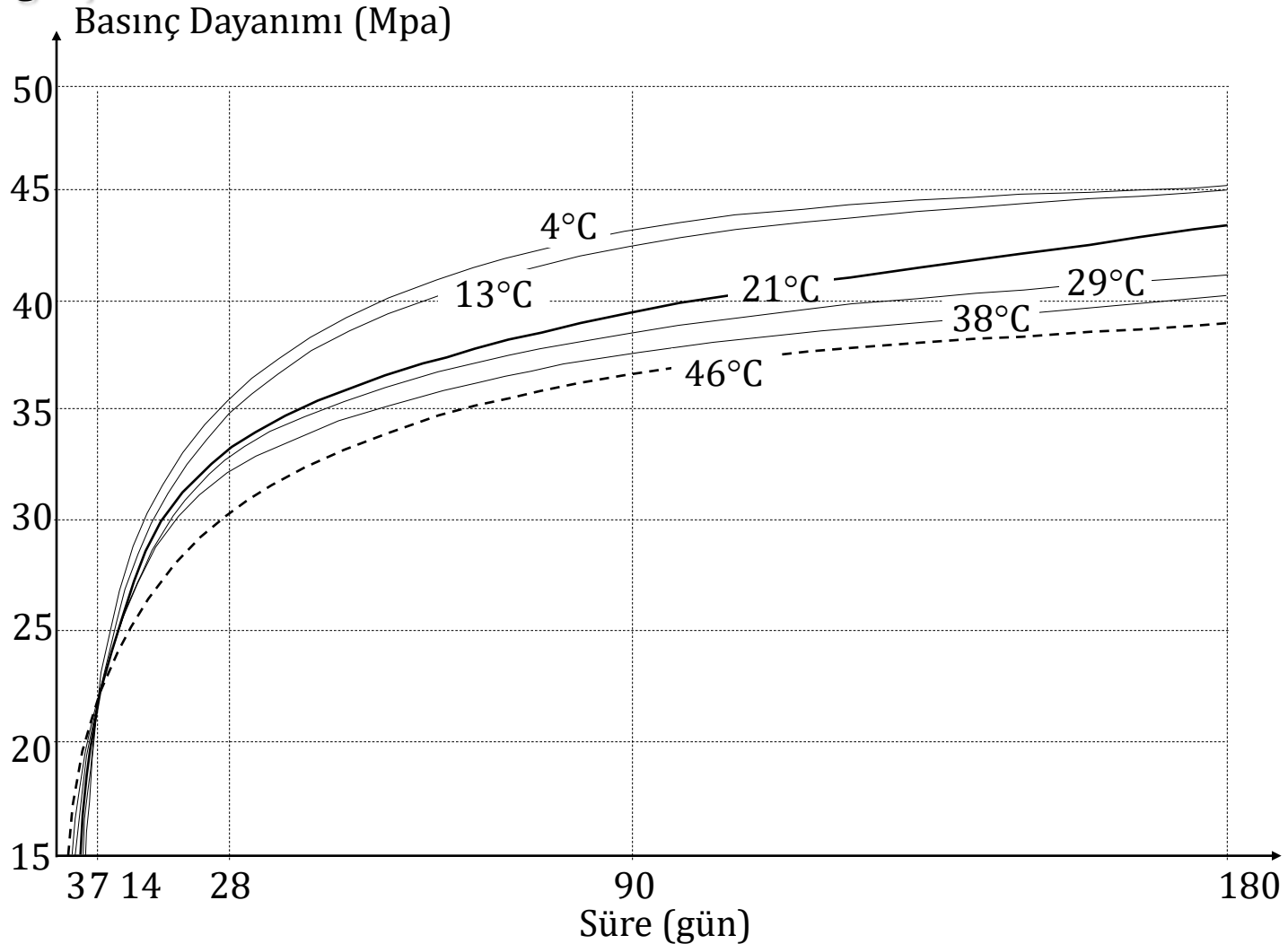
Bağıl nemin %80 altına düştüğü durumlarda hidrasyon oldukça yavaşlamakta, %30'un altında ise pratik olarak durmaktadır.



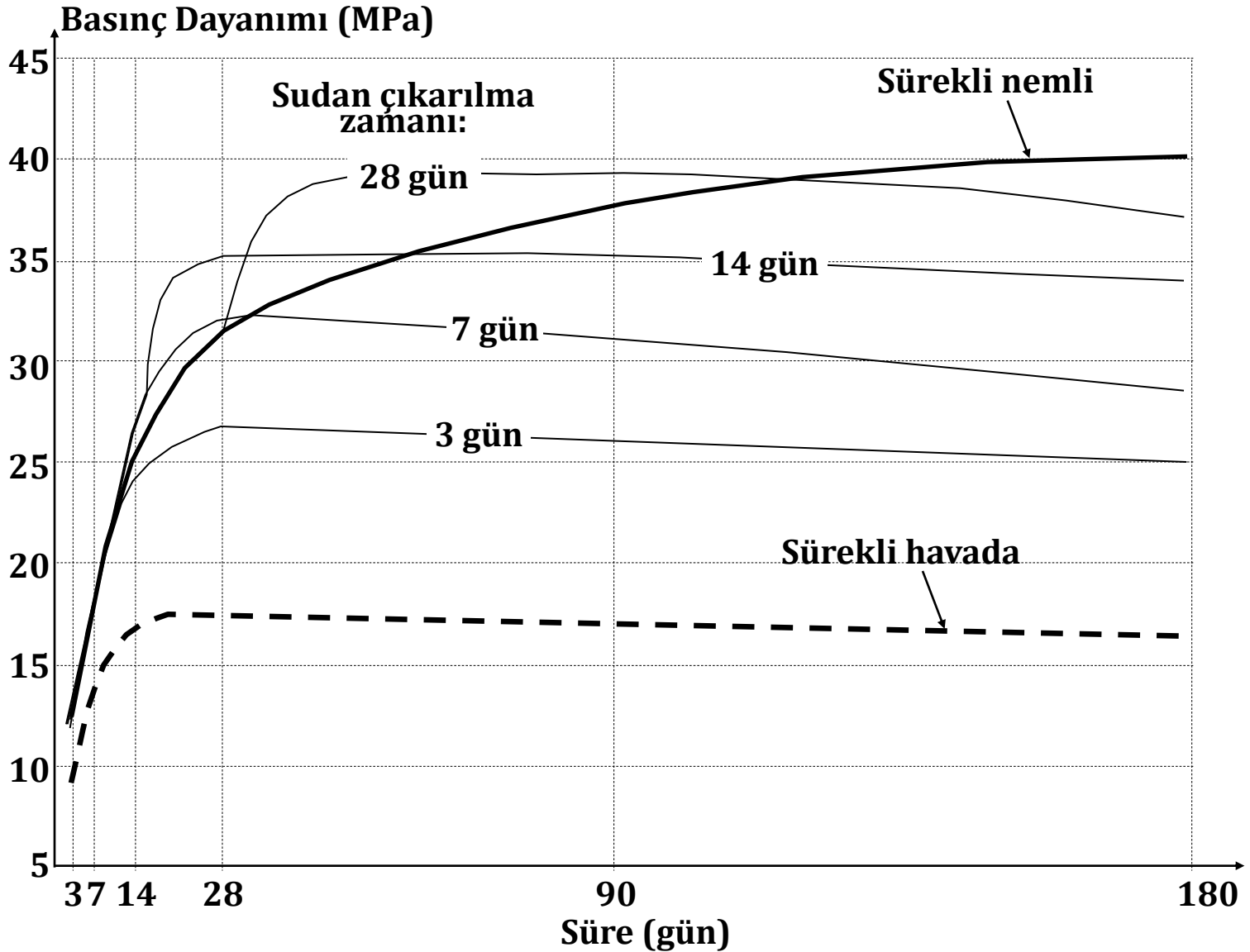
SICAKLIK ETKİSİ



Karışımından sonraki ilk iki saatteki sıcaklığın betonun dayanım gelişimine etkisi



NEM ETKİSİ



ÇİMENTOLARIN GENEL ÖZELLİKLERİ ve DENEYLERİ



PRİZ HIZLANDIRMA YÖNTEMLERİ

- ✓ Prizi çabuklaştıran katkı maddeleri kullanmak
- ✓ Suyun buharlaşmasına yol açmayacak şekilde (70-80°C) doygun buhar banyosu yaptırmak.

RÖTRE



**RÖTRE (BÜZÜLME) ENGELLENİRSE
ÇATLAK OLUŞUR.**

RÖTRE'nin (BÜZÜLME) ZARARLARI

1. ÇATLAKLAR OLUŞMASI

2. DONATIDA PARAZİT GERİLMELER OLUŞMASI

ÇATLAKLAR

- ÇEKME DAYANIMINI DÜŞÜRÜR
- İÇERİYE GİREN SU İLE BİRLİKTE
 - DONA DAYANIKLILIK
 - KİMYASAL ETKİLERE DAYANIKLILIK

AZALIR!

PLASTİK RÖTRE ÇATLAĞI



PLASTİK RÖTRE ÇATLAĞI



RÖTRE



- **HİDROLİK RÖTRE**

BOŞLUKLARDAKİ SUYUN KAYBI

- **TERMİK RÖTRE**

KÜTLE BETONLARINDA İÇ-DİŞ SICAKLIK FARKI

- **BÜNYESEL RÖTRE**

ÇİMENTO HİDRATASYON ÜRÜNLERİNİN
DAHA AZ HACİM KAPLAMASI

- **ERKEN PLASTİK RÖTRE**

TERLEMENİN BUHARLAŞMAYI KARŞILAYAMAMASI

- **KARBONATLAŞMA RÖTRESİ**

KARBONATLAŞMA SONRASINDA ORTAYA ÇIKAN
SUYUN BUHARLAŞMASI



RÖTRE



ÇİMENTO ÖZELLİKLERİNİN RÖTREYE ETKİSİ

- ✓ Rötrenin oluşumunda çimento ile ilgili faktörlerin en önemlilerinden biri inceliklidir.
- ✓ İnceliğin artmasıyla daha fazla çimento tanesi aynı zamanda hidratasyona katılarak önemli miktarda rötrenin meydana getirirler.
- ✓ İncelik ile **artan su miktarı** da rötrenin artmasında rol oynar.
- ✓ İnceliğin artmasıyla hidratasyon hızlandığından kılcallık suyunun büyük bir kısmı tutulmuş olur. Böylece suyun büyük bir kısmı tutulduğundan buharlaşma az miktarda gerçekleşir.

RÖTRE



ÇİMENTO ÖZELLİKLERİNİN RÖTREYE ETKİSİ

- ✓ Çimentonun kimyasal bileşiminin rötreye üzerinde önemli bir etkisi olup olmadığı ise tartışılan bir konudur.
- ✓ Bazılarına göre böyle bir etki pratik yönden mevcut değildir. Çimentonun bazı genişletirici maddeleri içermesi nedeniyle bu görüşe katılmak mümkün olmamaktadır.
- ✓ Çimentoda birleşmemiş kireç (CaO), MgO ve SO_3 gibi hacim genişmesi yapan maddelerin standartlarda belirtilen miktarların biraz daha üzerinde bulunması rötreyi önemli derecede azaltabilir.
- ✓ Bu hacim genişmesi yapan maddelerin miktarlarını uygun seçmek suretiyle rötresiz (genleşen) çimento yapılabilir.

RÖTRE



ÇİMENTO ÖZELLİKLERİNİN RÖTREYE ETKİSİ

- ✓ Çimento üretiminde priz süresini dengelemek amacıyla kullanılan alçı taşının da, rötre üzerine etkisi bulunmaktadır.
- ✓ Az miktarda alçı taşı kullanılması çimentonun hidrate elemanlarının iç yapısını etkileyerek rötrenin artmasına neden olmaktadır.
- ✓ Eğer çimentonun daha az rötre yapması isteniyorsa, normalden biraz daha fazla alçı taşı kullanılmalıdır.

RÖTRE



ÇİMENTO ÖZELLİKLERİNİN RÖTREYE ETKİSİ

- ✓ çimentonun karma bileşenlerinin rötre üzerine etkileri kesin olarak bilinmemekle beraber şu görüşler geçerlidir :
- ✓ Bir çimentoda fazla miktarda C_2S bulunması rötrenin fazla olmasına yol açabilir.
- ✓ Çünkü bu bileşenin hidratasyonu oldukça yavaş gerçekleşmektedir. Bu nedenle C_2S 'in fazla olması buharlaşmayan su miktarını azaltacak, buharlaşabilen suyun miktarını arttıracak ve bu durumda rötre fazlalaşacaktır.
- ✓ Değişik tip çimentolar bakımından karşılaştırma yapılırsa; hidratasyon hızı düşük olan puzolanik çimentoların Portland çimentolarından daha fazla rötre yapmaya elverişli olduğu söylenebilir.

RÖTRE



ÇİMENTO RÖTRESİ ÖLÇÜMÜ

- ✓ Çimentoların rötresi saf çimento hamurundan prizmalar üzerinde rötreyi ölçmekle elde edilir.
- ✓ Genellikle bu amaçla 40 x 40 x 160 mm'lik kalıplar kullanılmaktadır. Hazırlanan çimento hamuru bu kalıplara yerleştirildikten 24 saat sonra kalıptan çıkarılarak prizmanın L_0 uzunluğu hassas bir şekilde ölçülür. Daha sonra atmosferde t gün tutulan prizmanın rötresi:

$$\varepsilon_t = \frac{L_0 - L_t}{L_0}$$

ÇİMENTO



ÇİMENTO KİMYASAL DAYANIKLILIĞI

- ✓ Bağlayıcı maddelerde aranan en önemli özellik bu malzemenin yüksek bir dayanıma sahip olması ve bunu zamanla yitirmemesidir.
- ✓ Çimentoların içinde bulunan zararlı maddeler doğrudan doğruya hacim sabitliğini bozan, sönmemiş kireç (CaO), magnezi (MgO) ve SO_3 'dür.
- ✓ Bunların su ile yaptıkları reaksiyon sonucu önemli bir hacim artması meydana gelir.

ÇİMENTO



LE CHATELIER DENEYİ

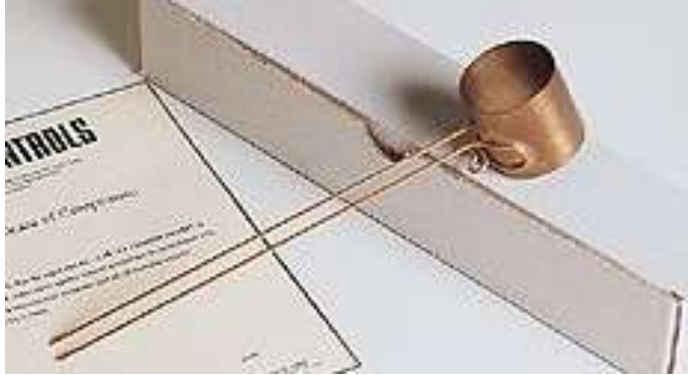
- ✓ Sönmemiş kireç ve magnezinin çimento içinde zarar oluşturabilecek miktarda bulunup bulunmadığı, pratik bir deney olan ve TS EN 196-3'de belirtilen, Le Chatelier (Genleşme) deneyi ile saptanabilir.
- ✓ Genleşme deneyinin esas amacı, bağlanmamış (serbest) CaO ve/veya MgO hidratasyonu sebebiyle sonradan ortaya çıkabilecek genleşme riskinin değerlendirilebilmesidir.



ÇİMENTO



LE CHATELIER DENEYİ



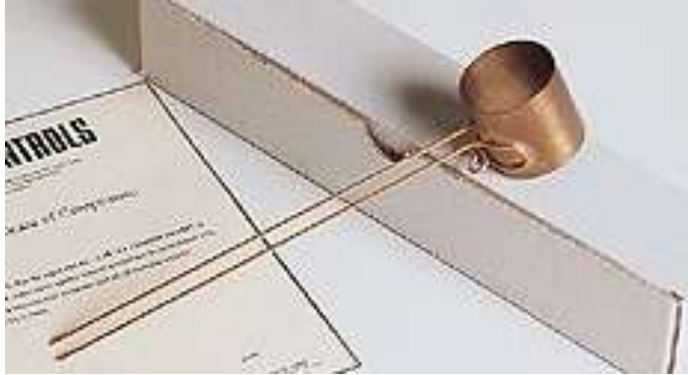
- ✓ Bu deneyde kullanılan alet 30 mm çaplı yarıklı bir silindir ve yarıklı kenarlara bağlı 150 mm uzunluğundaki iğnelerden ibarettir

- ✓ Pirinç silindir bir cam üzerine konulup, içine standart kıvamda çimento hamuru doldurulur.
- ✓ Üst yüzey düzeltildikten sonra, cam levha ile kapatılır ve üstüne bir ağırlık konur.
- ✓ 24 ± 0.5 saat kalıp su içinde (veya 20°C , %98 bağıl nem ortamında) tutulduktan sonra iğnenin iki ucu arasındaki uzaklık ölçülür. (a)

ÇİMENTO



LE CHATELIER DENEYİ



✓ Sudan çıkarılan kalıp tekrar suya konur ve 30 ± 5 dakikada kaynama noktasına gelinceye kadar ısıtılır.

✓ 3saat $\pm$ 5 dakika kaynar su içinde kalan kalıp çıkarılarak, tekrar iğne uçları arası uzaklık ölçülür (b)

✓ Daha sonra kalıbın $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 'a kadar soğuması sağlandıktan sonra iğnenin iki ucu arasındaki uzaklık tekrar ölçülür (c).

✓ $c - a \leq 10 \text{ mm}$ olması istenir.

ÇİMENTO



SO₃

- ✓ SO₃ çimento içine hammaddelerden, katkılardan veya kullanılan yakıttan girmektedir.
- ✓ Ayrıca klinkere eklenen alçı taşından kaynaklanan SO₃ sülfö - alüminat tuzlarının oluşmasına neden olmaktadır.
- ✓ Bu maddenin CEM I, CEM II, CEM IV ve CEM V için %3.5'den CEM III için ise % 4 ' den fazla olmaması istenir.



ÇİMENTO TİPLERİ



TS EN 197-1'e göre Çimento Türleri

✓ Çimentolarla ilgili yeni Türk standardı olan TS EN 197-1 “Genel Çimentolar” standardı kapsamındaki 27 farklı genel çimento, aşağıda verilen 5 ana tipte olmak üzere gruplandırılmıştır.

- ✓ CEM I Portland çimentosu
- ✓ CEM II Portland-kompoze çimento
- ✓ CEM III Yüksek fırın cürufu çimento
- ✓ CEM IV Puzolanlı çimento
- ✓ CEM V Kompoze çimento

ÇİMENTO TİPLERİ



TS EN 197-1'e göre Çimento Türleri

- ✓ TS EN 197-1 standardında çimentoların tanımı,
ana çimento tipi,
Portland çimentosu klinkeri oranı,
ikinci ana bileşen,
standart dayanım sınıfı (28 günlük) ve
erken dayanım kazanma hızı
dikkate alınarak yapılmıştır.

ÇİMENTO TİPLERİ



TS EN 197-1'e göre Çimento Türleri

✓ TS EN 197-1'deki değişik çimento tiplerine göre çimentonun bileşen malzemeleri şu şekildedir:

- ✓ **ana bileşen**, (örn. Portland çimentosu klinkeri);
- ✓ **ikinci ana bileşen**, (örn. uçucu kül, yüksek fırın cürufu, kalker, silis dumanı); (majör katkıları)
- ✓ **minör ilave bileşen**, (örn. uçucu kül, yüksek fırın cürufu, kalker, doğal puzolan)
- ✓ **priz ayarlayıcı**, (örn. kalsiyum sülfat; alçıtaşı)
- ✓ **kimyasal katkıları**, (örn. pigmentler, hava sürükleyici katkıları).

YENİ ÇİMENTO TİPLERİ



TS EN 197-1'e göre Çimento Türleri

✓ İkinci ana bileşeni belirten harfler ise şöyledir:

- ✓ **S-** granüle yüksek fırın cürufu;
- ✓ **D-** silis dumanı;
- ✓ **P-** doğal puzolan;
- ✓ **Q-** doğal kalsine puzolan;
- ✓ **V-** silissi uçucu kül;
- ✓ **W-** kalkersi uçucu kül;
- ✓ **T-** pişmiş şist;
- ✓ **M-** yukarıdakilerden ikisi veya daha fazlası
- ✓ **L-** kalker

YENİ ÇİMENTO TİPLERİ



TS EN 197-1'e göre Çimento Türleri

- ✓ Ülkemizde TS EN 197-1'e göre, en son şekliyle 32.5, 42.5 ve 52.5 MPa olmak üzere üç standart dayanım sınıfı bulunmaktadır.
- ✓ Ayrıca her dayanım sınıfı için iki erken dayanım sınıfı tanımlanmıştır.

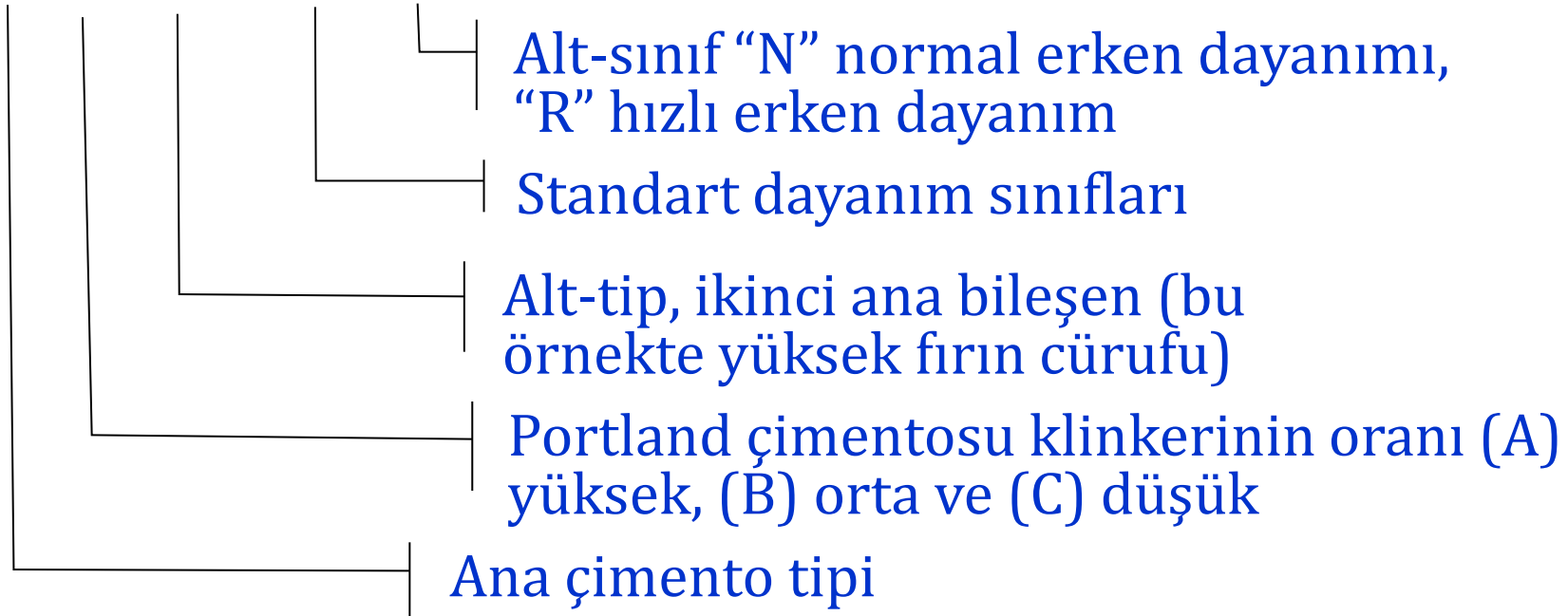
Dayanım Sınıfı	Basınç Dayanımı (MPa)				Priz başlama süresi(dk)	Genleşme (mm)
	Erken Dayanım		Standart Dayanım			
	2 günlük	7 günlük	28 günlük			
32.5 N	-	≥ 16.0	≥ 32.5	≤ 52.5	≥ 75	≤ 10
32.5 R	≥ 10.0	-				
42.5 N	≥ 10.0	-	≥ 42.5	≤ 62.5	≥ 60	
42.5 R	≥ 20.0	-				
52.5 N	≥ 20.0	-	≥ 52.5	-	≥ 45	
52.5 R	≥ 30.0	-				

ÇİMENTO TİPLERİ



TS EN 197-1'e göre Çimento Türleri

CEM II/A-S 42,5 N



[illegible]

ÇİMENTO TİPLERİ (TS-EN197)

Ana tipler	Genel çimento tipleri		Bileşim (kütlece % olarak)											
			Ana bileşenler										Minör ilave bileşen	
			Klinker	Yüksek fırın cürufu	Silis dumanı	Puzolan		Uçucu kül		Pişmiş şist	Kalker			
						Doğal	Doğal kalsine edilmiş Q	Silissi	Kalkersi		L	LL		
			K	S	D	P		V	W	T				
CEM II	Portland cürufu çimento	CEM II/A-S	80-94	6-20	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5	
		CEM II/B-S	65-79	21-35	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5	
	Portland silis dumanlı çimento	CEM II/A-D	90-94	-	6-10	-	-	-	-	-	-	-	0-5	
		Portland puzolanlı çimento	CEM II/A-P	80-94	-	-	6-20	-	-	-	-	-	-	0-5
	CEM II/B-P		65-79	-	-	21-35	-	-	-	-	-	-	0-5	
	CEM II/A-Q		80-94	-	-	-	6-20	-	-	-	-	-	0-5	
	CEM II/B-Q		65-79	-	-	-	21-35	-	-	-	-	-	0-5	
	Portland uçucu küllü çimento	CEM II/A-V	80-94	-	-	-	-	6-20	-	-	-	-	0-5	
		CEM II/B-V	65-79	-	-	-	-	21-35	-	-	-	-	0-5	
		CEM II/A-W	80-94	-	-	-	-	-	6-20	-	-	-	0-5	
		CEM II/B-W	65-79	-	-	-	-	-	21-35	-	-	-	0-5	
	Portland pişmiş şistli çimento	CEM II/A-T	80-94	-	-	-	-	-	-	6-20	-	-	0-5	
		CEM II/B-T	65-79	-	-	-	-	-	-	-	21-35	-	0-5	
	Portland kalkerli çimento	CEM II/A-L	80-94	-	-	-	-	-	-	-	-	6-20	-	0-5
		CEM II/B-L	65-79	-	-	-	-	-	-	-	-	21-35	-	0-5
		CEM II/A-LL	80-94	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6-20	0-5
		CEM II/B-LL	65-79	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21-35	0-5
	Portland kompoze çimento	CEM II/A-M	80-94	←-----6-20-----→										0-5
		CEM II/B-M	65-79	←-----21-35-----→										0-5

ÇİMENTO TİPLERİ



TS EN 197-1'e göre Çimento Türleri

Ana tipler	Genel çimento tipleri		Bileşim (kütlece % olarak)										
			Ana bileşenler										Minör ilave bileşen
			Klinker	Yüksek fırın cürufu	Silis dumanı	Puzolan		Uçucu kül		Pişmiş şist	Kalker		
						Doğal	Doğal kalsine edilmiş	Silissi	Kalkersi				
			K	S	D	P	Q	V	W	T	L	LL	
CEM III	Yüksek fırın cürufu çimento	CEM III/A	35-64	36-65	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM III/B	20-34	66-80	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM III/C	5-19	81-95	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
CEM IV	Puzolanik çimento	CEM IV/A	65-89	-	←-----11-35 -----→					-	-	-	0-5
		CEM IV/B	45-64	-	←-----36-55 -----→					-	-	-	0-5
CEM V	Kompoze çimento	CEM V/A	40-64	18-30	-	←-----18-30-----→			-	-	-	-	0-5
		CEM V/B	20-38	31-50	-	←-----31-50-----→			-	-	-	-	0-5

ÇİMENTO TİPLERİ



Portland Tipi Çimento Türleri

✓ TS 197-1'e göre ülkemizde üretilen Portland çimentoları, en son şekliyle aşağıda görüldüğü gibi üç tiptir.

- ✓ CEM I 32.5 (Normal Portland Çimentosu)
- ✓ CEM I 42.5 (Yüksek Dayanımlı Çimento)
- ✓ CEM I 52.5 (Yüksek Dayanımlı Çimento)

ÇİMENTO TİPLERİ



Portland Tipi Çimento Türleri

- ✓ CEM I 42.5 ve CEM I 52.5 CEM I 32.5'a göre;
- ✓ daha fazla kalker içerirler ve daha ince öğütölmüşlerdir.
- ✓ Bileşiminde C_3S daha fazla olduğundan dayanımları daha fazladır. Bu nedenle PÇ32.5'a kıyasla daha fazla $Ca(OH)_2$ oluşur.
- ✓ Bu yüzden kimyasal dayanıklılıkları daha azdır.
- ✓ Hidratasyon ısıları fazladır ve daha fazla karışım suyu gerektirirler.
- ✓ Bu çimentolar yüksek yapılar için arzu edilen özelliklere sahiptirler.
- ✓ Ancak barajlar, deniz yapıları, sülfatlı zeminlerde yapılacak inşaatlar için uygun değildirler.

ÇİMENTO TİPLERİ



Portland Tipi Çimento Türleri

- ✓ Yurt dışında ise, çimento için çok yaygın olarak Amerikan ASTM sınıflandırılması kullanılmaktadır.

Çimento Tipi		Ana Bileşenlerinin Miktarları (%)				İncelik (cm ² /g)
ASTM	CSA	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	
I	Normal	50	24	11	8	1800
II	Orta (Ara tip)	42	33	5	13	1800
III	Yüksek hızla dayanım kazanan	60	13	9	8	2600
IV	Düşük Isılı	26	50	5	12	1900
V	Sülfata Dayanıkl	40	40	4	9	1900

ÇİMENTO TİPLERİ



Portland Tipi Çimento Türleri

- ✓ Amerikan ASTM sınıflandırılmasına göre;
Bir Portland çimentosunun
hangi hızla hidrasyon yapacağı,
hangi hızla ve ne kadar hidrasyon ısıyı açığa çıkaracağı,
hangi hızla dayanım kazanabileceği ve
hangisinin sülfat etkilerine daha dayanıklı olabileceği,
karma bileşenlerinin miktarlarına bağlı olarak
anlaşılabilir.

ÇİMENTO TİPLERİ



Portland Tipi Çimento Türleri

- ✓ Örneğin, inceliği aynı olmak koşulu ile II.tip çimentonun C_3A içeriği I.tip çimentodan daha az olduğundan, hidrasyon ısı I.tip çimentoya göre daha düşük, sülfat etkilerine dayanıklılığı ise daha yüksektir.

Çimento Tipi		Ana Bileşenlerinin Miktarları (%)				İncelik (cm ² /g)
ASTM	CSA	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	
I	Normal	50	24	11	8	1800
II	Orta (Ara tip)	42	33	5	13	1800
III	Yüksek hızla dayanım kazanan	60	13	9	8	2600
IV	Düşük Isılı	26	50	5	12	1900
V	Sülfata Dayanıklı	40	40	4	9	1900

ÇİMENTO TİPLERİ



- ✓ III.tip çimento diğerlerine göre daha fazla C_3S içermesi nedeni ile erken dayanımı yüksektir. İnceliğinin ve C_3S içeriğinin fazlalığı nedeniyle, bu tip çimentolar yüksek oranlarda hidratasyon ısısı açığa çıkarırlar.

Çimento Tipi		Ana Bileşenlerinin Miktarları (%)				İncelik (cm ² /g)
ASTM	CSA	C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF	
I	Normal	50	24	11	8	1800
II	Orta (Ara tip)	42	33	5	13	1800
III	Yüksek hızla dayanım kazanan	60	13	9	8	2600
IV	Düşük Isılı	26	50	5	12	1900
V	Sülfata Dayanıklı	40	40	4	9	1900

ÇİMENTO TİPLERİ



✓ ASTM Portland Çimentolarının Dayanım Kazanma Oranları

Çimento Tipi	I. Tip normal çimentoya kıyasla dayanım kazanma (%)			
	1. Gün	7. Gün	28. Gün	3 Ay
ASTM TİP I	100	100	100	100
ASTM TİP II	75	85	90	100
ASTM TİP III	190	120	110	100
ASTM TİP IV	55	55	75	100
ASTM TİP V	65	75	85	100

ÇİMENTO TİPLERİ



Normal Portland Çimentosu

- ✓ En çok kullanılan çimento türüdür. Normal Portland çimentosu (CEM I) zemininde veya yer altı suyunda sülfat bulundurmayan normal betonarme yapılar için uygundur.



ÇİMENTO TİPLERİ



Normal Portland Çimentosu

- ✓ **%95-%100 klinker** kullanılarak üretilir.
 - ✓ Çok az oranda (%5) ilave bileşenler de (CaSO_4 ve yardımcı öğütücü maddeler dışında) bulunabilir.
-
- ✓ **C_3S ve C_2S miktarlarının klinker kütlelerinin 2/3 ünden az olmamalıdır.**
 - ✓ CaO/SiO_2 oranının kütlece 2.0'den az olmamalıdır.
 - ✓ MgO içeriği en fazla %5 olarak sınırlandırılmıştır.

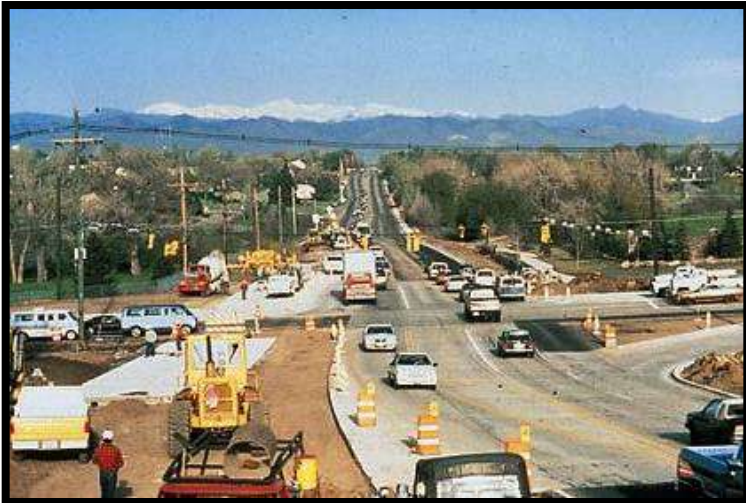
ÇİMENTO TİPLERİ



Ultra Erken Dayanımı Yüksek Çimento



- ✓ Hızlı dayanım gelişimi sağlaması bakımından **çok ince öğütölmüşlerdir.**
- ✓ Blaine inceliğı 7000-9000 cm²/g civarındadır.



- ✓ C₃S içerikleri %45-48,
- ✓ C₃A içerikleri %14.3-14.9 arasındadır.

ÇİMENTO TİPLERİ



Ultra Erken Dayanımı Yüksek Çimento

- ✓ İnceliklerin fazla olması nedeniyle hızlı hidrasyon yapar. Çok ince ve hidrasyon hızının yüksek olması nedeni ile erken yaşlardaki dayanım gelişimleri de yüksektir.
- ✓ Örneğin, 16 saatte, hızlı dayanım kazanan Portland çimentosunun 3 günlük dayanım değerine, **24 saatte ise, 7 günlük dayanım değerine** erişir.
- ✓ 28 günden sonraki dayanım artışı ise çok azdır.

ÇİMENTO TİPLERİ



Ultra Erken Dayanımı Yüksek Çimento

- ✓ Son zamanlarda C_3S içeriği çok yüksek (%60) ve C_2S içeriği çok düşük (%10) olan ultra erken yüksek dayanımlı çimentolar yapılmaktadır.
- ✓ Bunların priz başlangıç süresi 70 dakika, bitiş süresi ise, 95 dakika civarında olmaktadır. Bu nedenle söz konusu çimentoların işlenebilirlik süresi daha azdır.
- ✓ Ultra erken dayanımı yüksek çimento, **erken dayanım istenen ve hemen hizmete girmesi gereken bir çok yapıda** başarıyla kullanılabilir.

ÇİMENTO TİPLERİ



Düşük ısıli Portland Çimentosu

✓ **Büyük hacimli kütle betonlarında**, çimento hidratasyonunun gelişimiyle sıcaklığın yükselmesi **betonda ciddi çatlaklara** yol açabildiğinden, bu tip yapılarda kullanılacak çimentonun hidratasyon ısısının düşük olması zorunludur.

✓ Bu amaçla geliştirilen düşük ısıli Portland çimentosu, ASTM standardında Tip IV çimentosuna karşıt gelir.



ÇİMENTO TİPLERİ



Düşük Isılı Portland Çimentosu

- ✓ İngiliz BS 1370 (1979) standardında da bulunan bu tür çimentoların 7 günlük hidrasyon ısısı 60 cal/g ve 28 günlük hidrasyon ısısı ise 70 cal/g'dır.
- ✓ Düşük ısılı Portland çimentosunun C_3S ve C_3A gibi hızlı hidrate olan bileşenlerinin oldukça az olması, dayanımının normal Portland çimentosundan daha yavaş gelişmesine neden olur.
- ✓ Ancak son dayanım değerleri aynıdır.
- ✓ Diğer taraftan, dayanım gelişiminin yeterli olması için çimento inceliğinin en az 3200 cm²/g olması gerekir.

ÖZEL ÇİMENTOLAR



- ✓ Çimentolar kimyasal yapıları ve fiziksel özellikleri farklı olduğundan, hidrasyon sırasında farklı davranışlar gösterir.
 - ✓ Çimento üretiminde, hammaddeleri uygun seçmek koşulu ile, istenen özelliklerde değişik çimentolar elde edilebilir.
-
- ✓ **Ekonomik bakımdan ucuz olması ve çevreye daha az zarar vermesi nedeniyle, bazı inorganik doğal malzemeler veya endüstriyel atık maddeler eklenerek de çimento üretimi yapılmaktadır.**

ÖZEL ÇİMENTOLAR



Curufllu Çimentolar

- ✓ Ham demir üretimi artığı olan cürufda genel olarak % 12-18 Al_2O_3 , % 26-34 SiO_2 , % 42-48 CaO , ve az oranlarda MgO , Fe_2O_3 , MnO , CaS ve MnS bulunur.
- ✓ Bileşiminden de görüldüğü gibi curuf, **çimento üretiminde kil yerine** kullanılabilir.
- ✓ **Beton üretiminde agrega yerine** kullanılabilir.
- ✓ Bir bağlayıcı maddeyle (Portland çimentosu, kireç, alçı gibi) karıştırılarak kullanılmasıdır.

ÖZEL ÇİMENTOLAR



Curufllu Çimentolar

- ✓ Curuf aniden soğutulup, amorf ve camsı yapıya gelince, Portland klinkeri ile karıştırılıp, alçı taşı eklenmesinden sonra birlikte öğütölerek veya ayrı ayrı öğütöldükten sonra karıştırılması ile çimento haline getirilir.
- ✓ Curufun klinkere oranla daha zor öğütölebilir olması, birlikte öğütme koşullarında klinkerin ince, curufun ise daha kaba kalması durumunu ortaya çıkarır. Bu nedenle **ayrı ayrı öğütme** koşullarında elde edilen curufllu çimento ile yapılan betonlarda, işlenebilirlik ve dayanım bakımından daha iyi sonuçlar alınmaktadır.

ÖZEL ÇİMENTOLAR



Curufllu Çimentolar

- ✓ Curufllu çimentoların **hidratasyonu daha yavaş geliştiğinden, daha uzun süre kür** gerektirir. Bu nedenle kurak iklimli bölgelerde kullanılması doğru değildir.
- ✓ Sülfatlı sular, deniz suları, klorlu sular, karbonatlı sular, termal sular, buz çözücü maddeler vb. ile yapılan uzun süreli deneyler sonucunda curufllu çimentoların zararlı kimyasal etkiler altında **performanslarının yüksek** olduğu belirlenmiştir.

ÖZEL ÇİMENTOLAR



Curufllu Çimentolar

- ✓ Cürufllu çimentoların özellikleri aşağıdaki şekilde özetlenebilir :
- a) **Mekanik dayanımları ilk günlerde**, aynı miktarda çimento ve S/Ç oranı için Normal Portland çimentolarına kıyasla **düşüktür**.
 - b) **Soğuk havada kullanılmaya elverişli değildir**.
 - c) **Kimyasal etkilere karşı dayanıklılığı fazladır**. Deniz suyu ve sülfatlı ortamlara Portland çimentosundan daha dayanıklıdır.
 - d) **Düşük hidratasyon ısıları** vardır. Bu nedenle baraj inşaatı gibi büyük kütleli yapılar için uygundur.
 - e) Üretim enerjisi ve hammadde kullanımı bakımından **maliyetleri daha düşüktür**.
 - f) Daha **geçirimsiz beton yapımına uygun** olup, don olayına daha dayanıklıdır.

ÖZEL ÇİMENTOLAR



Aluminli Çimentolar

✓ Bu çimentolar, boksit ile kalkerin döner fırında eritilinceye (1700°C) kadar pişirilmesi ile elde edilir.

✓ Alumin miktarı % 30' dan fazladır.

Ana Oksit

- ✓ Alumin (Al_2O_3)
- ✓ Kireç (CaO)
- ✓ Demir oksit (Fe_2O_3)
- ✓ Silis (SiO_2)

Ağırlıkça(%)

40-45
35-42
5-15
4-10

✓ Aluminli çimentonun esas karma bileşenleri kalsiyum aluminat (CA) ve dikalsiyum silikat (C_2S) dır.

✓ Asit karakterli olduğundan asitlerden zarar görmez.

ÖZEL ÇİMENTOLAR



Aluminli Çimentolar

✓ Aluminli çimentoların özellikleri aşağıdaki şekilde özetlenebilir :

- a) Mekanik dayanımları hızlı bir şekilde gelişir. Aynı koşullarda **1 günlük dayanımı, Portland çimentosunun 8 aylık dayanımına** eşdeğerdir.
- b) Prizi ve sertleşmesi sırasında **önemli derecede ısı çıkar.**
- c) Aluminli çimentolarla üretilen betonlarda **Ca(OH)_2 oluşmaz.** Bu nedenle **kimyasal etkilere çok dayanıklıdır.**
- d) Aluminli çimentoların hidratasyonu için fazla su gerekir.
- e) **Yüksek sıcaklıklara karşı dayanıklıdır.**

ÖZEL ÇİMENTOLAR



Uçucu Kül Çimentoları

- ✓ Uçucu küller çimentoya hammadde olarak, klinker ve alçıtaşı ile birlikte öğütülerek veya mamul çimentoya doğrudan olmak üzere üç şekilde katılabilir.
- ✓ TS EN 197-1 Genel çimentolar standardında, **sillissi ve kalkersi uçucu küllerin klinkere ağırlıkça %6-35 katılabileceği** belirtilmiş ve **Portland-Uçucu küllü çimento (CEM II)** olarak adlandırılmıştır.
- ✓ Uçucu küllü çimentoların, istenen mekanik özellikleri sağlayabildikleri takdirde, **sülfata dayanıklılık, geçirimsizlik, düşük hidrasyon ısısı** gibi olumlu yönleri vardır.

ÖZEL ÇİMENTOLAR



Portland Puzolanlı Çimento

- ✓ Ülkemiz için önemli bir çimento türü, doğal puzolan kullanılarak üretilen **Portland puzolanlı** çimentolardır (CEM II/AB-PQ).
- ✓ Bu tip çimentolar daha önce Traslı(TS 26) ve Katkılı(TS 10156) çimentolar olarak tanımlanmaktaydı.
- ✓ Portland puzolanlı çimentolarda TS EN 197-1' e göre, **doğal ve doğal kalsine edilmiş puzolan miktarı % 6-35** arasındadır.
- ✓ Fırına girmeyen malzeme miktarının fazlalığı, bu tip çimentonun üretiminin ekonomik olmasını sağlar.

ÖZEL ÇİMENTOLAR



Portland Puzolanlı Çimento

✓ Puzolanlı çimentoların olumlu ve olumsuz yönleri vardır.

✓ Olumlu yönleri:

- ✓ Ülke ekonomisi açısından yararlıdır,
- ✓ Üretim sırasında daha az çevre kirliliği yaratır,
- ✓ Zararlı ortamlara dayanıklıdır,
- ✓ Hidratasyon ısısı düşüktür,
- ✓ İyi kohezyon özelliği vardır,
- ✓ Uzun süreli dayanım artışı gösterir.

ÖZEL ÇİMENTOLAR



Portland Puzolanlı Çimento

✓ Olumsuz yönleri:

- ✓ İlk dayanımların nispeten düşüktür,
- ✓ Daha iyi bakım gerektirir,
- ✓ Soğuk bölgelerde daha dikkatli kullanım gerektirir,
- ✓ Çok ince trarla öğütülmüş çimentolarda erken rötre olayı fazladır.

✓ Ancak bu özellikler her trarlı çimento için geçerli olmayabilir.

ÖZEL ÇİMENTOLAR



Portland Puzolanlı Çimento

- ✓ Sözü edilen özellikler CEM II tipi Çimentoları aşağıda belirtilen işler için uygun kılar:
- ✓ Büyük kütleli yapılar, temel inşaatları, depo-silo inşaatları, sıva işleri, briket vb. yapı elemanı üretimi ve özelliği olmayan basit bina inşaatları.
- ✓ Buna karşılık bu tip çimentoları yüksek dayanım gerektiren yüksek yapılar vb. yerlerde kullanmak doğru değildir.

ÖZEL ÇİMENTOLAR



Beyaz Çimento



✓ Hammaddesi: Beyaz kil (kaolen), kalker ve mermer tozu

✓ Demir oksit (Fe_2O_3) (%0.3 den az) ve manganın çok az olması nedeniyle, hafif yeşil-beyaz renkte olan bu çimento **mimari gaye** ile yapılarda kullanılır.

ÖZEL ÇİMENTOLAR



Beyaz Çimento



✓ Mekanik özelliklerinin normal Portland çimentosu ile aynı olması istenir.

- ✓ Beyaz çimentonun üretiminde kullanılan hammaddeler farklı olduğu gibi üretim yöntemleri de Portland çimentosundan farklıdır.
- ✓ Bu nedenle **maliyetleri normal Portland çimentosunun 3 katı** kadardır.

ÖZEL ÇİMENTOLAR



Renkli Çimentolar

- ✓ **Beyaz çimento içine toz metal oksitlerinden oluşan pigmentlerin** (% 1-5 arasında) eklenmesi ile elde edilir.
- ✓ Örneğin, sarı renk için; demir oksit hidrate, kırmızı renk için; demir oksit, yeşil renk için; krom oksit, mavi renk için; Lazurite, siyah renk için; magnetik demir oksit, beyaz renk için; titan oksit kullanılır.
- ✓ Pigmentler çimentonun **dayanımına ve sürüklenmiş hava üzerine olumsuz etki** yapabilirler. Örneğin, çok ince pigmentler su ihtiyacını artırarak karışımın hava içeriğini azaltırlar.

ÖZEL ÇİMENTOLAR



Harç Çimentosu



✓ Yüksek dayanım gerektirmeyen dolgu, sıva, harç işlerinde kullanılan, %60' a kadar puzolanik madde içeren özel bir bağlayıcıdır.

✓ Üretimde puzolan olarak uçucu kül, tras ve curuf gibi maddeler kullanılır.

✓ Ekonomiktir, ancak Normal Portland çimentosunun yerine betonarme inşaatlarda kullanılmamasına dikkat etmek gerekir.

✓ Harç çimentosunun 7 ve 28 günlük basınç dayanımlarının sırasıyla en az 10 MPa ve 16 MPa olması istenir.

ÖZEL ÇİMENTOLAR



Sülfata Dayanıklı Çimentolar

- ✓ Çimentoların sülfata karşı en dayanıksız ögesi C_3A karma oksitidir.
- ✓ Portland çimentolarında C_3A karma oksiti %8 - 11 oranlarında değiştiğinden, bu tip çimentoları sülfat etkisinde kalan yapı elemanlarında kullanmak doğru değildir.
- ✓ C_3A içeriği belli bir değerden düşük olan çimentolar sülfata dayanıklı çimento olarak adlandırılır.

ÖZEL ÇİMENTOLAR



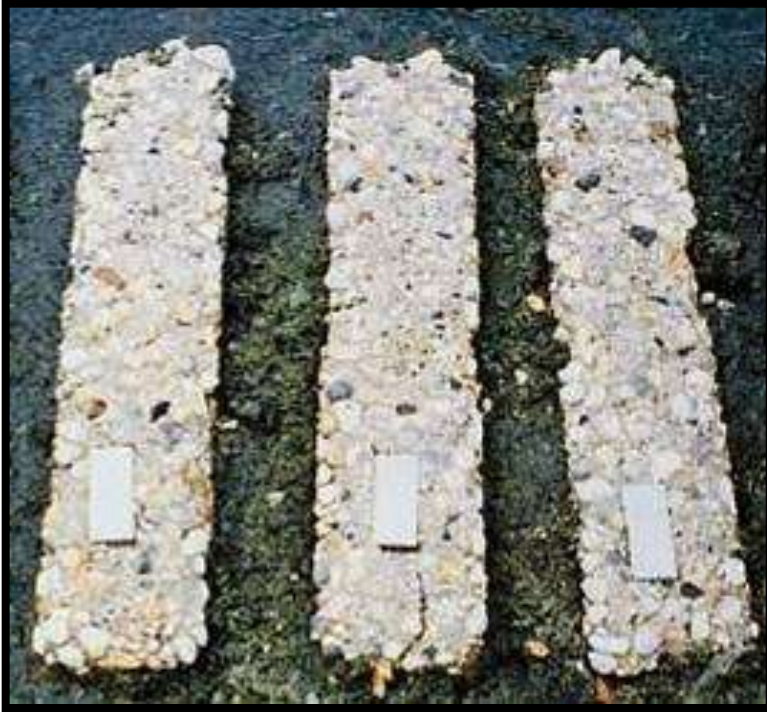
Sülfata Dayanıklı Çimentolar

- ✓ Bileşiminde en fazla %5 oranında C_3A içeren klinkerin bir miktar alçı taşı ile öğütülmesi sonucu üretilir.
- ✓ Bu çimentoda C_3A ve $(C_4AF + 2C_3A)$ miktarları sırasıyla en fazla %5 ve %25 olmalıdır.
- ✓ Bu tip çimentolar **deniz suyu ve sülfatlı su içeren zeminler ve diğer sülfatlı ortamlar** için en dayanıklı çimentolardır.

ÖZEL ÇİMENTOLAR



Sülfata Dayanıklı Çimentolar



Normal Portland çimentosu
S/Ç oranı : 0.65



Sülfata dayanıklı çimento
S/Ç oranı : 0.65

ÖZEL ÇİMENTOLAR



Süper Sülfat Çimentosu

- ✓ %80-85 oranında (en az %65) granüle yüksek fırın cürufu içerir.
- ✓ Üretimde ayrıca anhidrit (%10-15 oranında CaSO_4) ve en çok %5 oranında PÇ klinkeri kullanılır.
- ✓ İncelikleri $4000\text{-}5000\text{ cm}^2/\text{g}$ 'dır.
- ✓ İlk günlerdeki dayanım daha çok kalsiyum-alumino-sülfohidrat (ettringite) oluşumundan ve daha sonraki dayanımlar ise CSH oluşumundan sağlanmaktadır.
- ✓ Bu çimento, kimyasal etkilere (özellikle sodyum ve kalsiyum sülfat etkilerine) dayanıklıdır.

ÖZEL ÇİMENTOLAR



Erken Dayanımı Yüksek Çimentolar



- ✓ Bu tip çimentolar **ince öğütülmüş** (en az 3500 cm²/g Blaine) bağlayıcılar olup, **hızlı dayanım gerektiren yerlerde** kullanılır.



- ✓ Bu çimentoların 2 ve 7 günlük dayanımları (30 MPa ve 40 MPa) aynı tip Normal Portland çimentolarına kıyasla yüksektir (10 MPa ve 21 MPa).

ÖZEL ÇİMENTOLAR



Erken Dayanımı Yüksek Çimentolar

- ✓ Hızlı sertleşen Portland çimentosu (ASTM Tip III), dayanım gelişimi daha hızlı olan erken yüksek dayanımlı çimento olarak da tanımlanır.
- ✓ Hızlı sertleşen Portland çimentosunun dayanım artış hızı **yüksek miktardaki C_3S** (%55 den fazla, bazen %70 civarında) içeriğine ve çimento klinkerinin **ince öğütülmesine** bağlıdır.
- ✓ Blaine inceliği 4500 ile 6000 cm^2/g arasındadır. Daha fazla incelik 10 ile 20 saat arasındaki dayanımı önemli derecede artırır.

ÖZEL ÇİMENTOLAR



Hidrofob Çimentolar

- ✓ Rutubete karşı dayanıklı olması amacıyla, klinkere hidrofob bir eleman (%0.1-0.4 oranında stearik asit, oleic asit) eklenip öğütülmesi ile elde edilir.
- ✓ Bu katkılar aynı zamanda klinkerin öğütülebilirliğini artırır.
- ✓ Hidrofob çimento görünüş olarak normal Portland çimentosuna benzer. Fakat küf kokusu gibi bir karakteristik özelliğe sahiptir.
- ✓ Hidrofob çimentolar suyla kolay ıslanmadıklarından Hidrofob çimento ile üretilen harç ve betonları daha uzun süre karıştırmak gerekir.

ÖZEL ÇİMENTOLAR



Oil-well çimentosu

- ✓ Çok üstün özelliklere sahip bir çimentodur. Grout veya slurry olarak yerkabuğundaki çatlaklardan binlerce metre derinliğe kadar pompalanabilecek işlerde kullanılır.
- ✓ Yer kabuğunda derinliğe bağlı olarak sıcaklık değişmektedir. 5000 m derinlikte sıcaklık 150°C'yi ve basınç 100 MPa'ı geçebilir.
- ✓ Araştırma için açılan sondaj kuyularında derinlik, 10000 m civarında olduğundan bu tip çimento ile doldurulmaktadır.
- ✓ Bu tip çimentolar yukarıda belirtilen koşullar altında **ulaşması gereken yere priz yapmadan gidebilmelidir.**
- ✓ Ayrıca, yeniden sondaj işlemine izin verecek kadar da **hızlı dayanım kazanması** gerekmektedir.

ÖZEL ÇİMENTOLAR



Doğal Çimento

- ✓ Doğal çimento, **çimento kayası** olarak adlandırılan ve içinde **%25 kadar kil içeren kireçtaşının kalsinasyonu ve öğütülmesi** ile elde edilir.
- ✓ Portland çimentosuna benzeyen bu çimento Portland çimentosu ve hidrolik (su) kireci arasında özelliğe sahiptir.
- ✓ Doğal çimentonun kalsinasyon sıcaklığı düşük olduğu için pratik olarak **C_3S içermez ve yavaş sertleşir.**

ÖZEL ÇİMENTOLAR



Antibakteriyel çimento

- ✓ Bu çimento mikrobiyolojik fermentasyonu önlemek için antibakteriyel maddeler kullanılarak üretilen bir Portland çimentosudur.
- ✓ Gıda maddesi üreten tesislerin yer betonlarında, su depoları, yüzme havuzlarında ve bakteri, mantar bulunan benzer yerlerde kullanılmaktadır.



ÖZEL ÇİMENTOLAR



- ✓ Bunlardan başka değişik amaçlı; örneğin, rötresiz ve genleşen çimentolar (grout) vardır.
- ✓ Bu tip çimentolar özel dolgu, makina ankraжі vb. problemlerde kullanılır. Genelde içlerinde bir miktar alüminyum tozu vardır.
- ✓ Alüminyum tozu, hidrasyon sırasında genleşip, rötreyi engeller. Bu tip çimentolarda jips, kireç ve alüminat türü katkıları da bulunmaktadır.



Dokuz Eylül Üniversitesi
İnşaat Mühendisliği Bölümü

İNŞ2024 YAPI MALZEMESİ II

ÇİMENTO

Dr. Öğr. Üyesi Çağlar YALÇINKAYA

www.caglaryalcinkaya.com