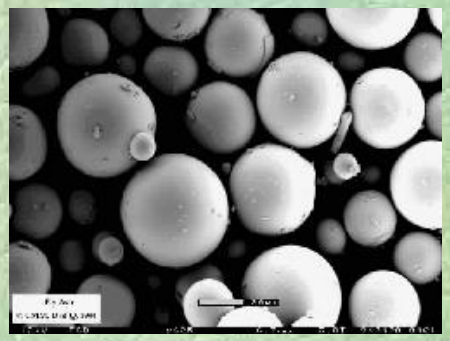
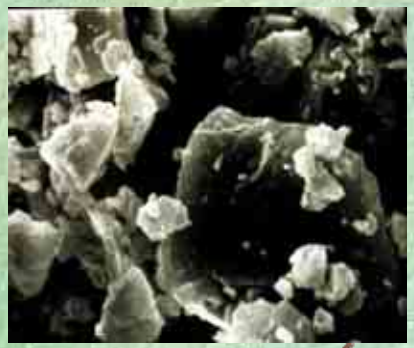
YAPI MALZEMESİ

4

ÇİMENTO







Yrd. Doç. Dr. Hayri ÜN

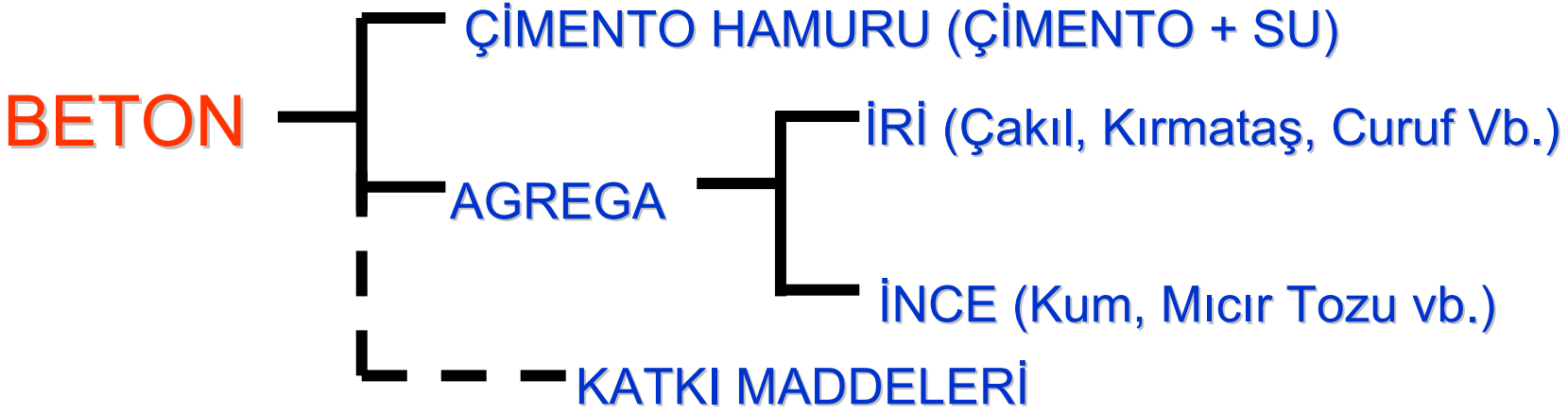
Pamukkale Üniversitesi

2007 - BAHAR



BETON

ÇAĞIMIZIN MALZEMESİ BETON ESAS OLARAK İKİ BİLEŞENLİ KOMPOZİT BİR MALZEMEDİR.



ÇİMENTO : **BAĞLAYICI**

İRİ AGREGA : **YÜKLERİ TAŞIYICI**

İNCE AGREGA : **BOŞLUKLARI DOLDURUCU**

SU : **HİDRATASYON BAŞLATMAK + İŞLENEBİLİRLİK SAĞLAMAK**

KATKI : **İSTENEN ÖZELLİKLERİ GELİŞTİRMEK**

BETON ÜRETİM AŞAMALARI

MALZEME SEÇENEKLERİNİN BELİRLENMESİ

↓

MALZEME DENEYLERİ (AGREGA, ÇİMENTO, SU, KATKI MADDELERİ)

↓

MALZEME SEÇİMİ

↓

BETON DİZAYNI

DAYANIKLILIK (DURABİLİTE) ⟷ (İŞLENEBİLİRLİK, İŞLEVSELLİK, EKONOMİ) ⟷ DAYANIM BETON SINIFI

↓

DENEME ÜRETİMİ

↓

MALZEME STOKLANMASI

↓

TARTIM

↓

KARIŞTIRMA

↓

TAŞIMA ve YERİNE YERLEŞTİRME

↓

SIKIŞTIRMA (VİBRASYON) → ÖRNEK ALMA
SLUMP
B.H.A
SIKIŞIK HAVA %
SICAKLIK

↓

KÜR

↓

TAHRİBATSIZ DENEYLER (TABANCA, ULTRASES) ← SERTLEŞMİŞ BETON → TAHRİBATLI DENEYLER (SİLİNDİR, KÜP, KAROT)

ÇİMENTO

HİDROLİK BAĞLAYICILAR SINIFINDAN

(HEM HAVADA, HEM DE SU ALTINDA PRİZ YAPIP, SERTLEŞME)

İLK BAĞLAYICILAR:

TOPRAK

TOPRAK+KİREÇTAŞI KARIŞIMLARI,

KİREÇ ALÇILAR,

PİŞMİŞ KİL TOZLARI,

DOĞAL PUZOLANLAR.

ÇİMENTO

- ✓ Hidrolik özellikli, diğer bir deyişle su altında da sertleşebilme gösteren ve bozulmayan bağlayıcı madde elde etmek amacıyla başlayan yoğun çalışmalar ise 1755 yılına rastlar.



- ✓ Bu çalışmaların önde gelenleri, İngiliz John Smeaton'un 1756 yılında Eddystone deniz fenerinin yapımı için kullandığı "Aberthaw kireci+İtalyan puzolanı" karışımından elde ettiği bağlayıcı ve 1796 yılından itibaren İngiliz James Parker ve James Frost tarafından killi kalkerli malzemelerin pişirilmeleri sonucunda üretilen doğal çimentolar olmuşlardır.

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

- ✓ 1800'lü yılların başında Fransız Louis Vicat su kireci (hidrolik kireç) kullanımıyla ilgili çok önemli çalışmalar yapmıştır.

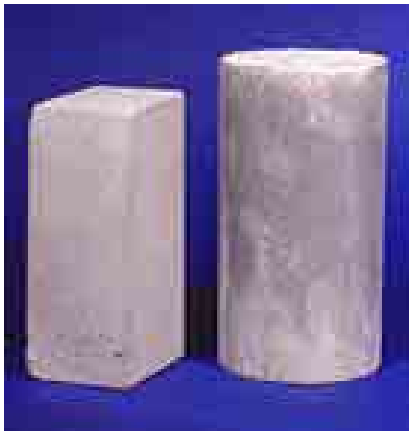
- ✓ Ancak "Portland çimentosu" olarak adlandırılan ve diğer hidrolik bağlayıcılardan daha üstün özelliklere sahip olan bağlayıcı, 1824 yılında İngiltere'nin Leeds kentinde, Joseph Aspdin isimli bir duvarcı ustası tarafından ince taneli kil ve kalker karışımının pişirilmesi ve daha sonra öğütülmesi ile elde edilmiştir.

ÇİMENTO



- ✓ Bu ürüne su ve kum katıldığında ve zamanla sertleşme olduğunda, ortaya çıkan malzemenin İngiltere'nin Portland adasından elde edilen yapı taşlarına benzer.





- ✓ Bunu gören Joseph Aspdin, elde ettiği bu bağlayıcı için 21.10.1824 tarihinde "Portland Çimentosu" adı altında patent almıştır

ÇİMENTO



- ✓ Portland adası, İngiltere'nin güneyinde, Dorset kıyılarına yakın bir adadır.
- ✓ Bu ada açık gri renkte olan sağlam ve dayanıklı kalker taşları ile meşhurdur.

ÇİMENTO



✓ Londra'daki Saint Paul katedrali Portland adasından çıkarılan taşlarla yapılmıştır

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.

ÇİMENTO

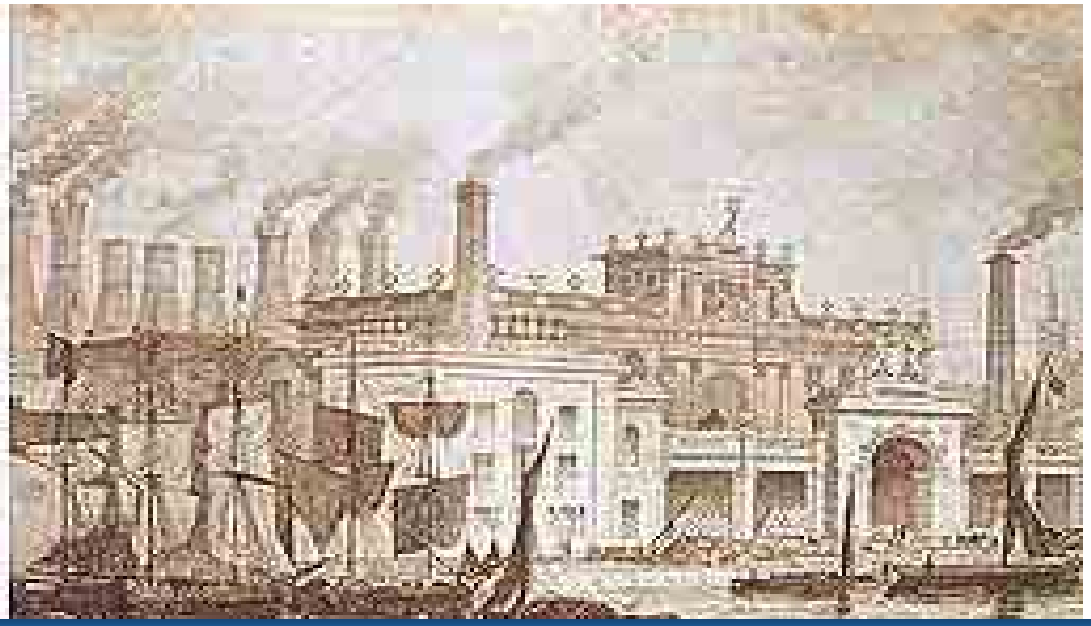
- ✓ Hammaddelerin yüksek sıcaklıklara kadar pişirilip öğütülmesi olayı daha sonra 1845 yılında Isaac Johnson isimli bir İngiliz tarafından gerçekleştirilmiştir..



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

ÇİMENTO

- Aşağıda Joseph Aspdin'in küçük 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 endüstrisinin 2005 yılında 35 milyon ton, 2006 yılında da 40 milyon üretim yapacağı tahmin edilmektedir.

ÇİMENTO ÜRETİMİ

KALKER (KİREÇTAŞI) $CaCO_3$

KİL Al_2O_3, SiO_2, Fe_2O_3

} ÇİMENTO

$\sum$

CaO (≈%65)
SiO_2 (≈%22)
Al_2O_3 (≈%7)
Fe_2O_3 (≈%3)

$\neq$ **ÇİMENTO**

ÇİMENTO ÜRETİMİ

HAMMADDE



KIRMA



ÖĞÜTME



KARIŞTIRMA (ISLAK KURU)



YAKMA (1450-1650°C)



KLİNKER

ÇİMENTO ÜRETİMİ

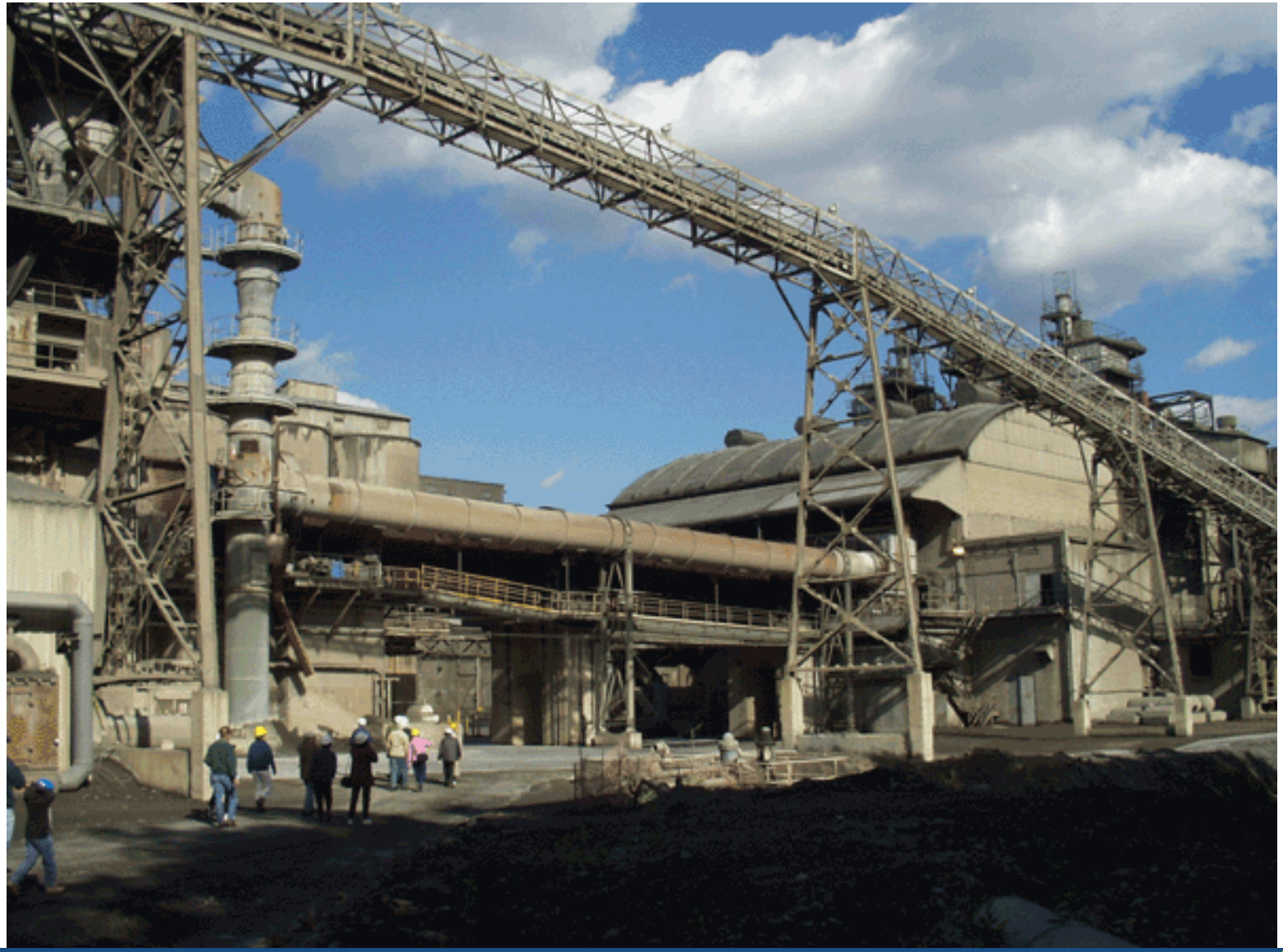
Çimento üretimi dünyadaki CO_2 üretiminin %8'nin sorumlusudur.



ÇİMENTO ÜRETİMİ



ÇİMENTO ÜRETİMİ

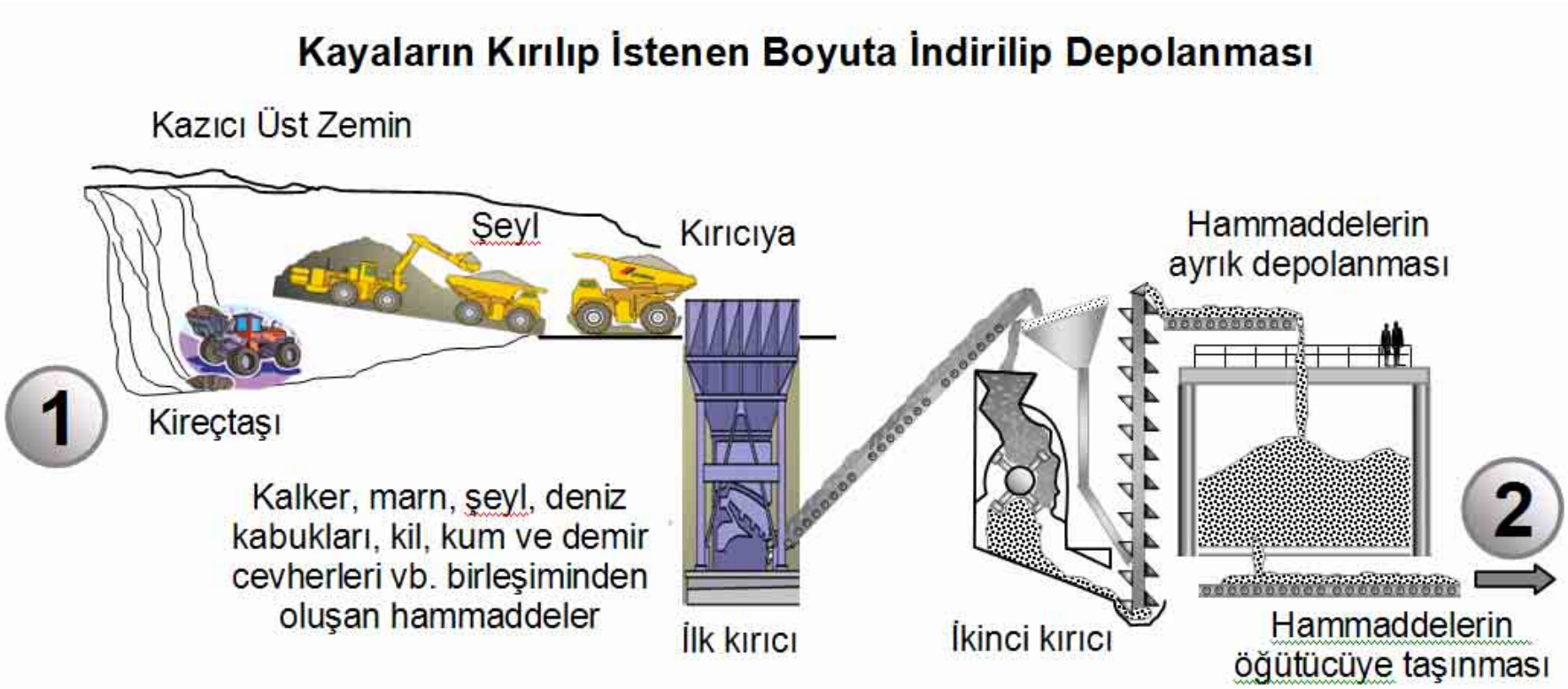


ÇİMENTO ÜRETİMİ

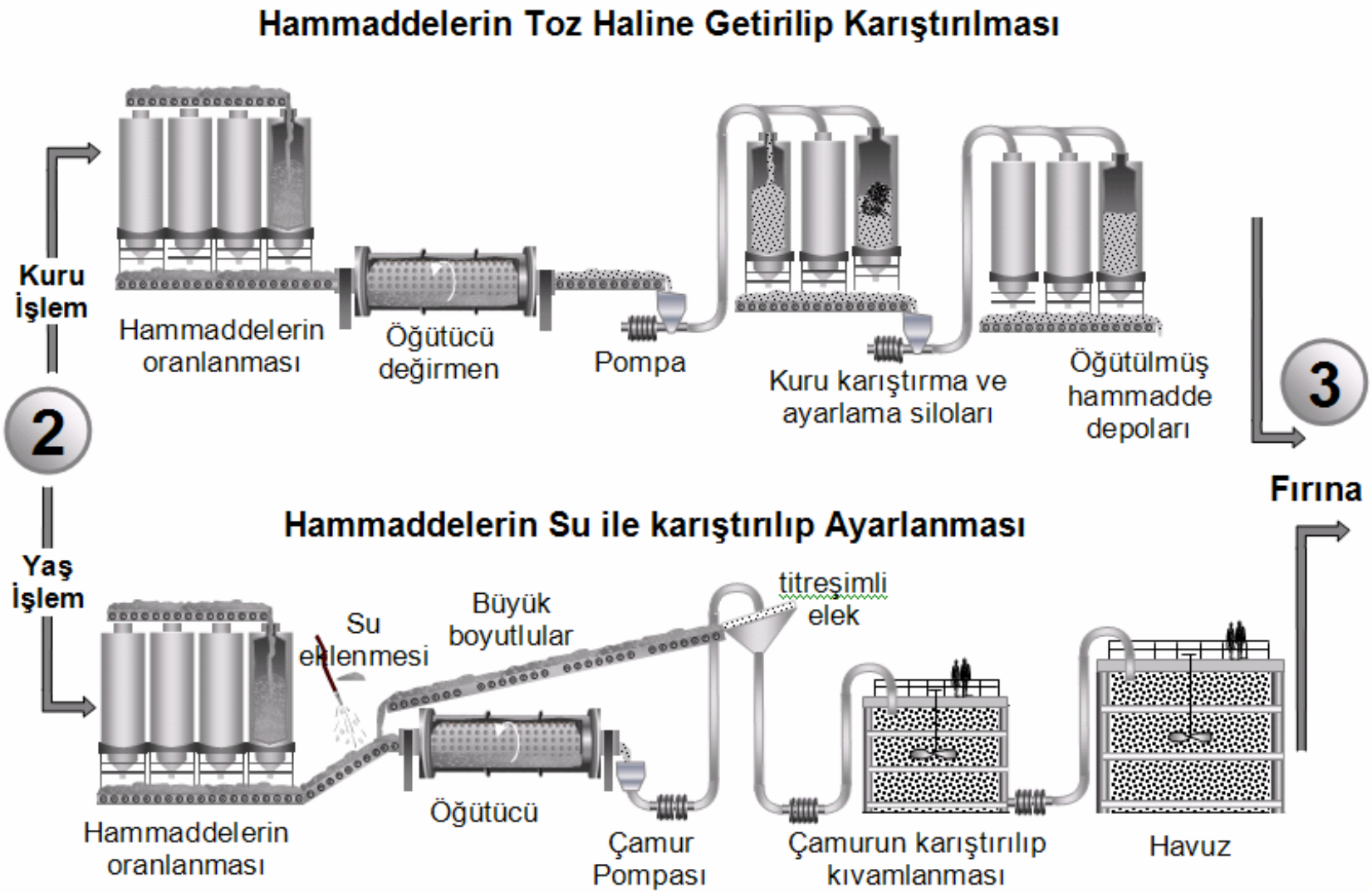




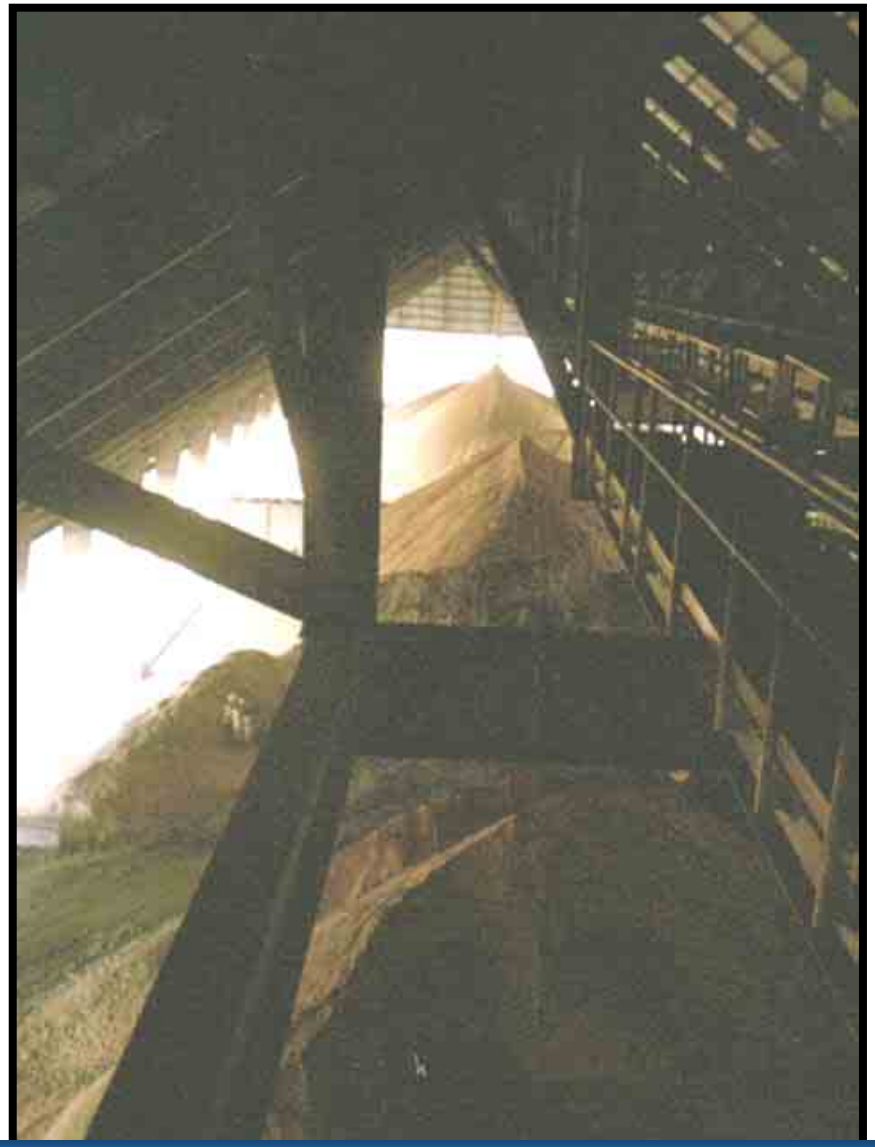
ÇİMENTO ÜRETİMİ



ÇİMENTO ÜRETİMİ



ÇİMENTO ÜRETİMİ

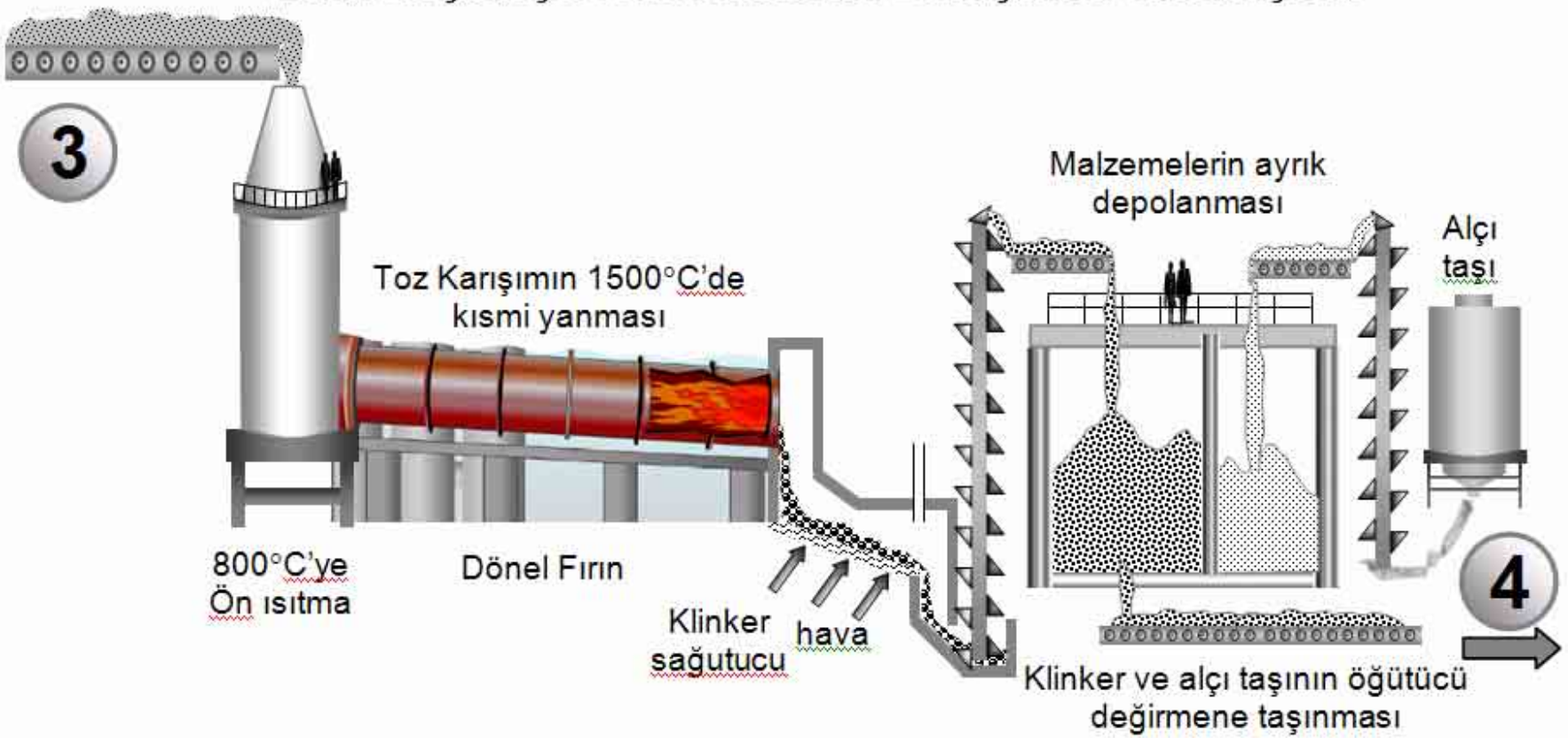




ÇİMENTO ÜRETİMİ



ÇİMENTO ÜRETİMİ



ÇİMENTO ÜRETİMİ



ÇİMENTO ÜRETİMİ



ÇİMENTO ÜRETİMİ



✓ VİDEO 1 İÇİN TIKLAYINIZ

ÇİMENTO ÜRETİMİ



✓ VİDEO 2 İÇİN TIKLAYINIZ

ÇİMENTO ÜRETİMİ



KLİNKER

ÇİMENTO ÜRETİMİ

İLKEL MALZEMELERİN ANALİZİ

- ✓ Hammaddenin analizi sonunda birbirine karıştırılacak kalker ve kil miktarları saptanır.
- ✓ Bir ton Portland çimentosu üretebilmek için yaklaşık 1600 kg hammadde kullanılır.
- ✓ Bunun yaklaşık %80'i kalker kökenlidir. Kalkerli maddeler fırında ağırlıklarının %44'ünü oluşturan CO_2'i kaybeder.

$$CaCO_3 + \text{ısı} \xrightarrow{850°C\ -1400°C} CaO + CO_2\uparrow$$

İLKEL MALZEMELERİN ANALİZİ

- ✓ Kireç (CaO) genellikle kalkerli hammaddelerden,
- ✓ silis (SiO_2) ve alumin (Al_2O_3) ise killi hammaddelerden sağlanır.
- ✓ Demir oksit ise (Fe_2O_3) killi veya kalkerli hammaddelerin yapısında bulunmaktadır.
- ✓ Al_2O_3 ve Fe_2O_3 miktarları yeterli değilse boksit ve demir cevheri ilave edilir.

ÇİMENTO ÜRETİMİ

HOMOJEN KARIŞIM SAĞLANMASI

- ✓ Kil ve kalkerin belirli oranlarda homojen bir karışımını elde etmek amacıyla, yaş ve kuru olmak üzere iki yöntem kullanılır.

- ✓ **Yaş yöntemde** önce kil büyük havuzlara gönderilerek burada malzemenin su içinde dağılması sağlanır.
- ✓ Sonra kırmataş halinde bulunan kalkerle birlikte ıslak olarak değirmende öğütülür ve buradan tekrar havuzlara gönderilir.
- ✓ Bu havuzlarda büyük kanatların döndürülmesi ile karışım homojen hale sokulur.
- ✓ Yapılan analizlerle istenilen bileşim bulununca, karışım fırına gönderilmek üzere sulu bir kıvamda depolanır.

ÇİMENTO ÜRETİMİ

HOMOJEN KARIŞIM SAĞLANMASI

- ✓ Kil ve kalkerin belirli oranlarda homojen bir karışımını elde etmek amacıyla, yaş ve kuru olmak üzere iki yöntem kullanılır.

- ✓ **Kuru yöntemde** ise kalker ve kil önce ayrı ayrı kaba bir şekilde öğütülerek saptanan miktarlarda birbirine karıştırılır.
- ✓ Öğütme işlemi hammaddelerin uygun oranlarda karışımını daha hassas yapabilmek, hem de bunların fırında daha iyi ve üniform pişirilmelerini sağlamak için yapılır.
- ✓ Karıştırma işleminde basınçlı hava kullanılarak homojen bir karışım elde edilir.
- ✓ Ancak bu yöntemde de karışımın içinde %10-12 su bulunur.

ÇİMENTO ÜRETİMİ

HOMOJEN KARIŞIM SAĞLANMASI

- ✓ İlkel malzemelerin yumuşak olması halinde yaş yöntem, sert olması halinde kuru yöntem önerilir.
- ✓ Yaş sistemde karışımın içinde önemli oranda (~%35) su içerdiğinden, fırındaki pişirme işlemi için daha fazla enerji gerekir ve kuru yönteme kıyasla iki kat yakıt harcanır.
- ✓ Yaş sistemin önemli bir avantajı toz kontrolünün daha kolay olması nedeni ile ekolojik yönden sağladığı faydadır.
- ✓ Ancak yakıt maliyetleri işletme masraflarının %30-40'ını teşkil ettiğinden günümüzde daha çok kuru yöntem kullanılmaktadır.

ÇİMENTO ÜRETİMİ

KARIŞIMLARIN PİŞİRİLMESİ

- ✓ Çimento üretiminde hammaddelerin döner fırına girmeden önceki öğütülmüş ince haline Fransızca'da un anlamına gelen farine (farin) denilmektedir.
- ✓ Gerek yaş, gerekse kuru yöntemle hazırlanan farin adı verilen bu karışımlar döner fırınlara gönderilerek pişirilir.
- ✓ Kuru yönteme göre hazırlanan karışımlar için 40-50 m uzunluğunda, yaş yöntemde ise 80-100 m uzunlukta fırınlar kullanılır.

ÇİMENTO ÜRETİMİ

KARIŞIMLARIN PİŞİRİLMESİ

- ✓ %3-7 arasında eğime sahip bu fırınların iç çapları, 2-4 m arasında değişir ve içi ateş tuğlası kaplıdır. Genellikle yaş sistemdeki döner fırınlarda boy/çap oranı yaklaşık 30 civarında iken, kuru sistemde ise bu oran yaklaşık 15'dir.

- ✓ Homojen hale getirilmiş ilkel malzeme eğim dolayısıyla kendi ekseni etrafında dönen (60-180 devir/saat) fırında aşağı doğru hareket ederek gittikçe daha yüksek sıcaklığın etkisinde kalır.

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 PİŞİRİLMESİ

- ✓ 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 ekseni 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 herhangibir 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) → PÇ

KLİNKER+ALÇI TAŞI+PUZOLAN (%19) → KÇ

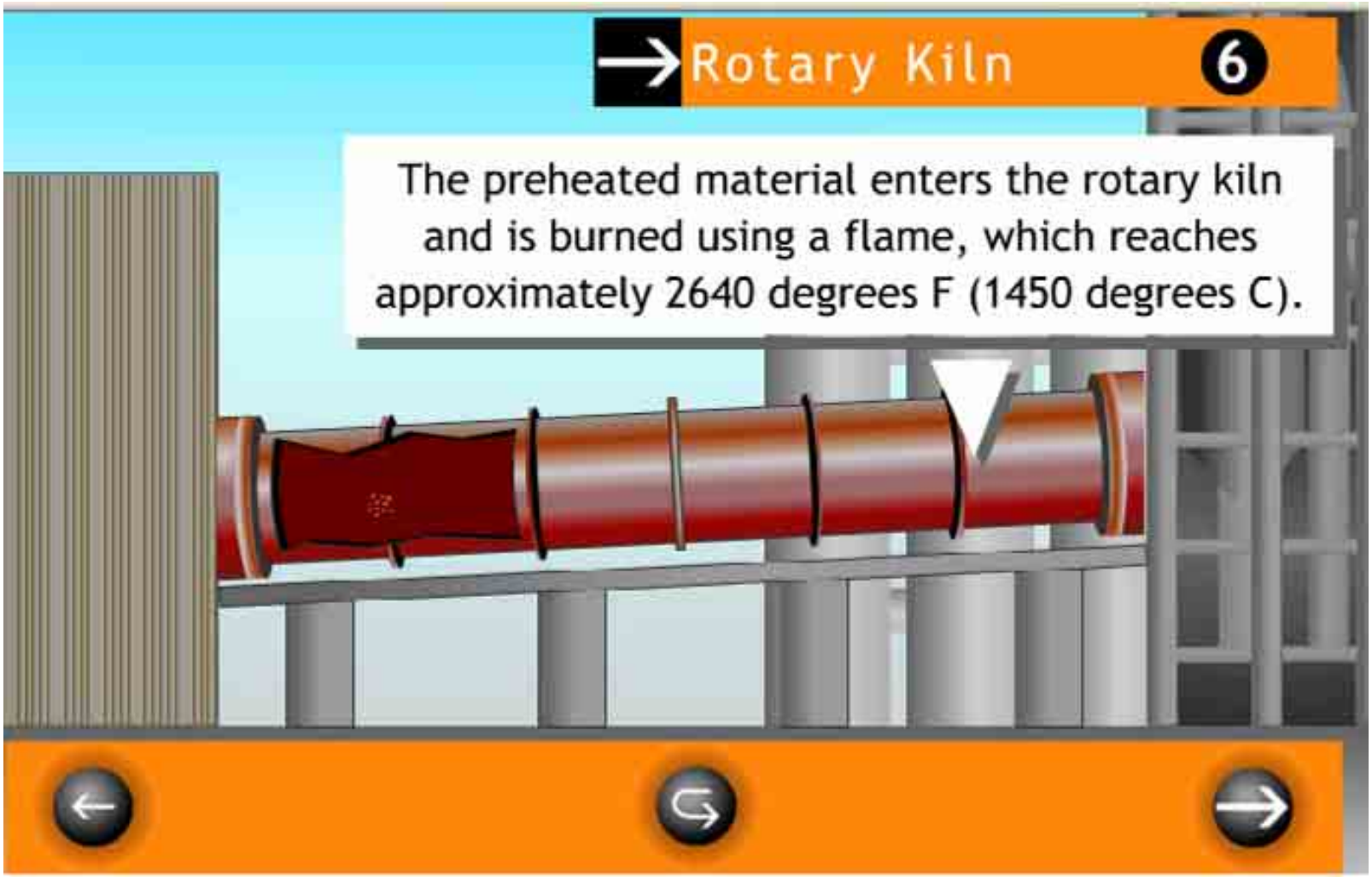
KLİNKER+ALÇI TAŞI+PUZOLAN (%40) → TÇ

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



ÇİMENTO ÜRETİMİ

ÇİMENTONUN SAKLANMASI

- ✓ Çimentoların dört aydan fazla bekletilmemeleri gerekir.
- ✓ Uygun depolama koşullarında bile çimentolar ortamdan nem alıp dayanım kaybına uğrayabilirler.

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

- ✓ Torbalar halinde saklanması durumunda en çok 8 torba üst üste dizilmelidir.

- ✓ Ayrıca torba dizileri arasından hava akımı geçebilmelidir.

ÇİMENTO ÜRETİMİ

ÇİMENTONUN SAKLANMASI





ÇİMENTO ÜRETİMİ

ÇİMENTONUN SAKLANMASI

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

- ✓ Ayrıca bu amaçla şantiyede özel depo yaptırılıyorsa, binanın tavanının içten eğimli yapılmasında yarar vardır.
- ✓ Böylece nemin yoğuşarak çimento torbaları üzerine damlaması önlenir.

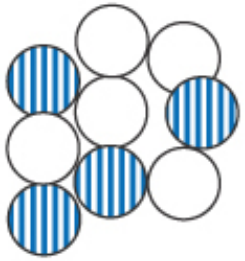
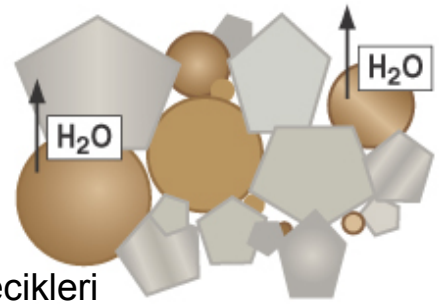
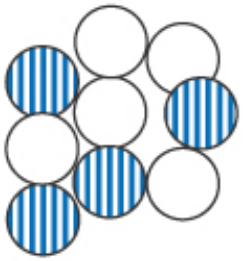
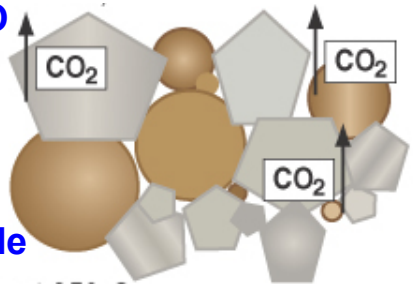
ÇİMENTO ÜRETİMİ

ÇİMENTO KİMYASINDA KISALTMALAR

- CaO → C
- SiO_2 → S
- H_2O → H
- Al_2O_3 → A
- Fe_2O_3 → F

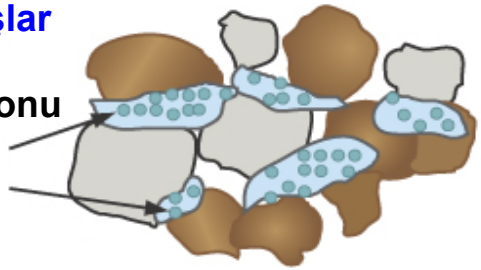
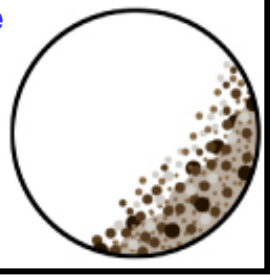
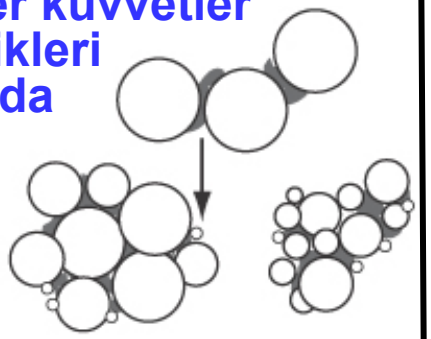
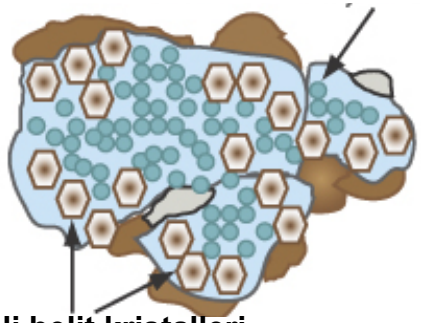
ÇİMENTO ÜRETİMİ

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. 
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 C_2S oluşturur. Kalsinasyonun devam etmesi sıcaklığı 850°C'de tutar. 

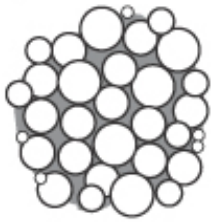
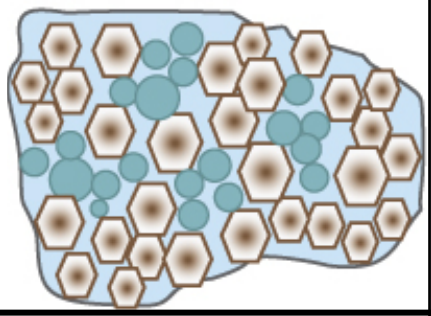
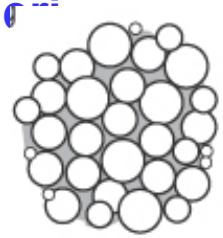
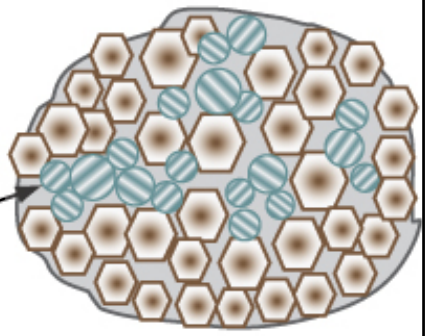
ÇİMENTO ÜRETİMİ

DÖNER FIRINDAKİ OLUŞAN DEĞİŞİMLER

Döner Fırın En kesiti	Topaklanma işlemi	Klinker reaksiyonları
1150-1200°C Tanecikler yapışkan hale gelmeye başlar 	Katı Tanecikler arasında reaksiyon oluşmaya başlar. 	Kalsinasyon sona erince sıcaklık hızla artmaya başlar Serbest CaO Silikatlar ile CaO reaksiyonu sonucu oluşan küçük C_2S kristalleri 
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'in reaksiyona girerek C_3S oluşturmalarına olanak sağlar Yuvarlak belit kristalleri  köşeli belit kristalleri

ÇİMENTO ÜRETİMİ

DÖNER FIRINDAKİ OLUŞAN DEĞİŞİMLER

Döner Fırın En kesiti	Topaklanma işlemi	Klinker reaksiyonları
1350-14500°C Parçalıkların tepeden birlikte düşmeleri nedeniyle Agglomeralaşma ve parçacıkların tabakalanması devam eder. 	Sıvı faz yeterli ise topaklanma oluşur. Sıvı faz yetersi ise tozlu klinker oluşur.  	C_2S kristalleri miktar olarak azalır, boyut olarak büyür. C_3S kristalleri miktar ve boyut olarak artar. 
Soğuma 	Soğuma sırasında topaklar şekillerini 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 ($3CaO.SiO_2$) - **Belite**

C_2S ($2CaO.SiO_2$) - **α türü Alite, β türü Felite**

C_3A ($3CaO.Al_2O_3$) -

C_4AF ($4CaO.Al_2O3.Fe_2O_3$) - **Celite**

ÇİMENTO

HAMMADDELER

KALKER (KİREÇTAŞI) $CaCO_3$

KİL Al_2O_3, SiO_2, Fe_2O_3

ÇİMENTO KARMA OKSİTLERİ

C_3S ($3CaO.SiO_2$)	- HIZLI DAYANIM
C_2S ($2CaO.SiO_2$)	- YAVAŞ VE SÜREKLİ DAYANIM
C_3A ($3CaO.Al_2O_3$)	- KİMYASAL ETKİLERE (SÜLFATA) DAYANIKSIZLIK
C_4AF ($4CaO.Al_2O3.Fe_2O_3$)	- PRİZ SICAKLIĞINI DÜŞÜRME



ÇİMENTONUN HİDRATASYONU

Yrd. Doç. Dr. Hayri ÜN

Pamukkale Üniversitesi

2007 - BAHAR

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.

çimento + su → .... + ISI

ÇİMENTO

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

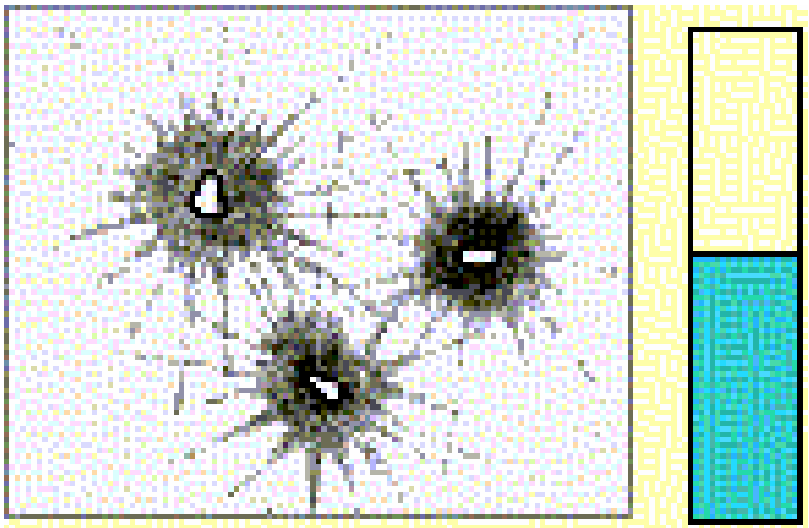
1. **Hidratasyon olayı:**
   Çimentoyu oluşturan maddelerin su ile yaptığı kimyasal reaksiyondur.

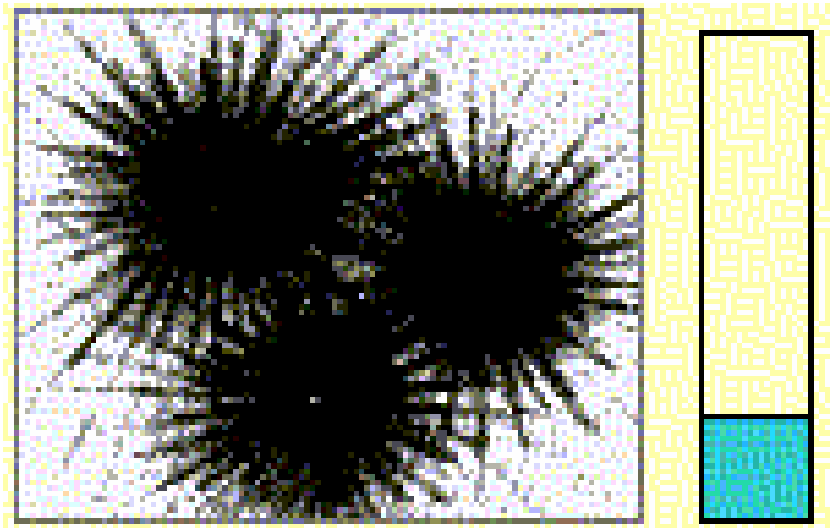
2. **Katılaşma olayı:** Priz yapma

3. **Sertleşme olayı:**
   Dayanım kazanma şeklinde mekanik bir olaydır.

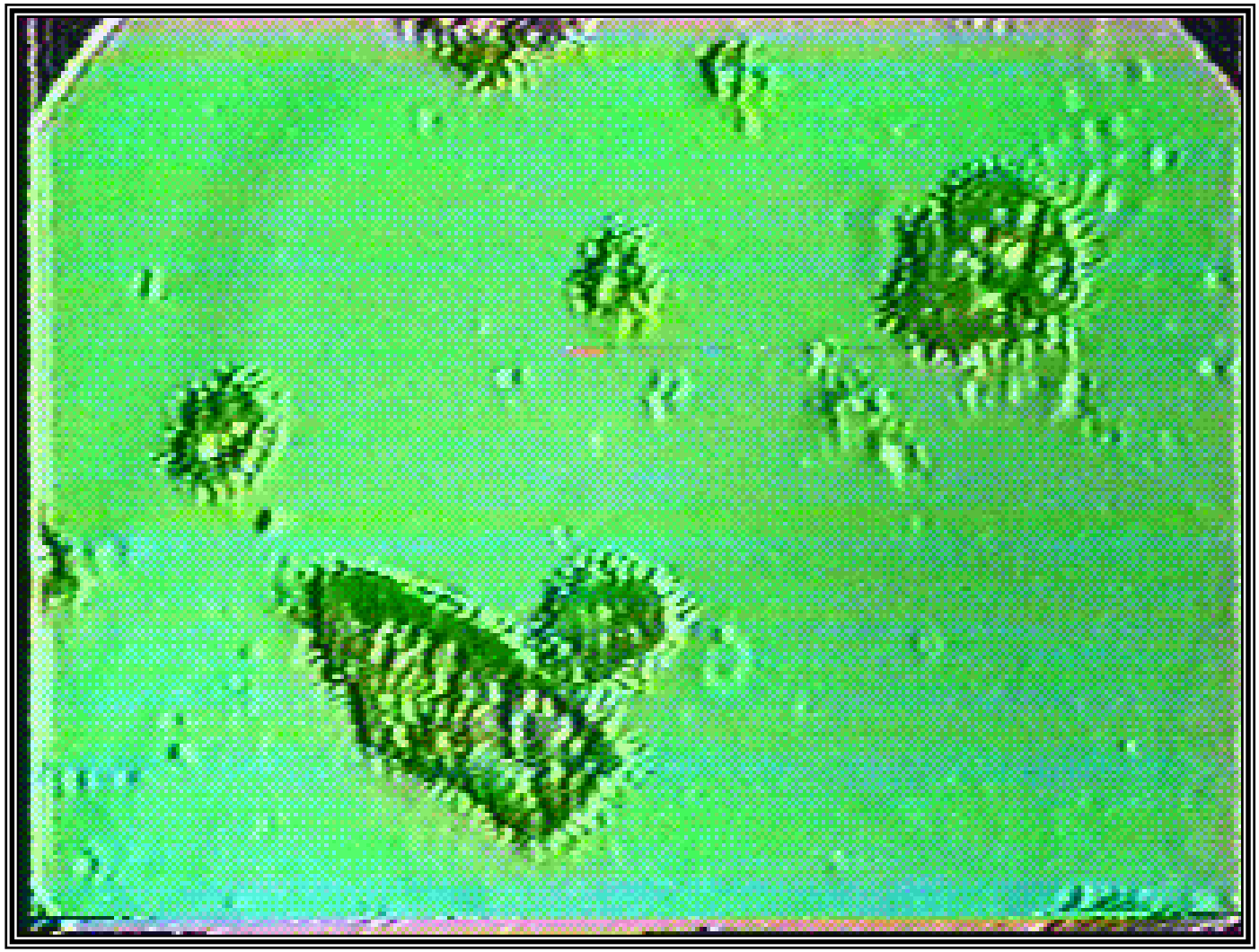
ÇİMENTO



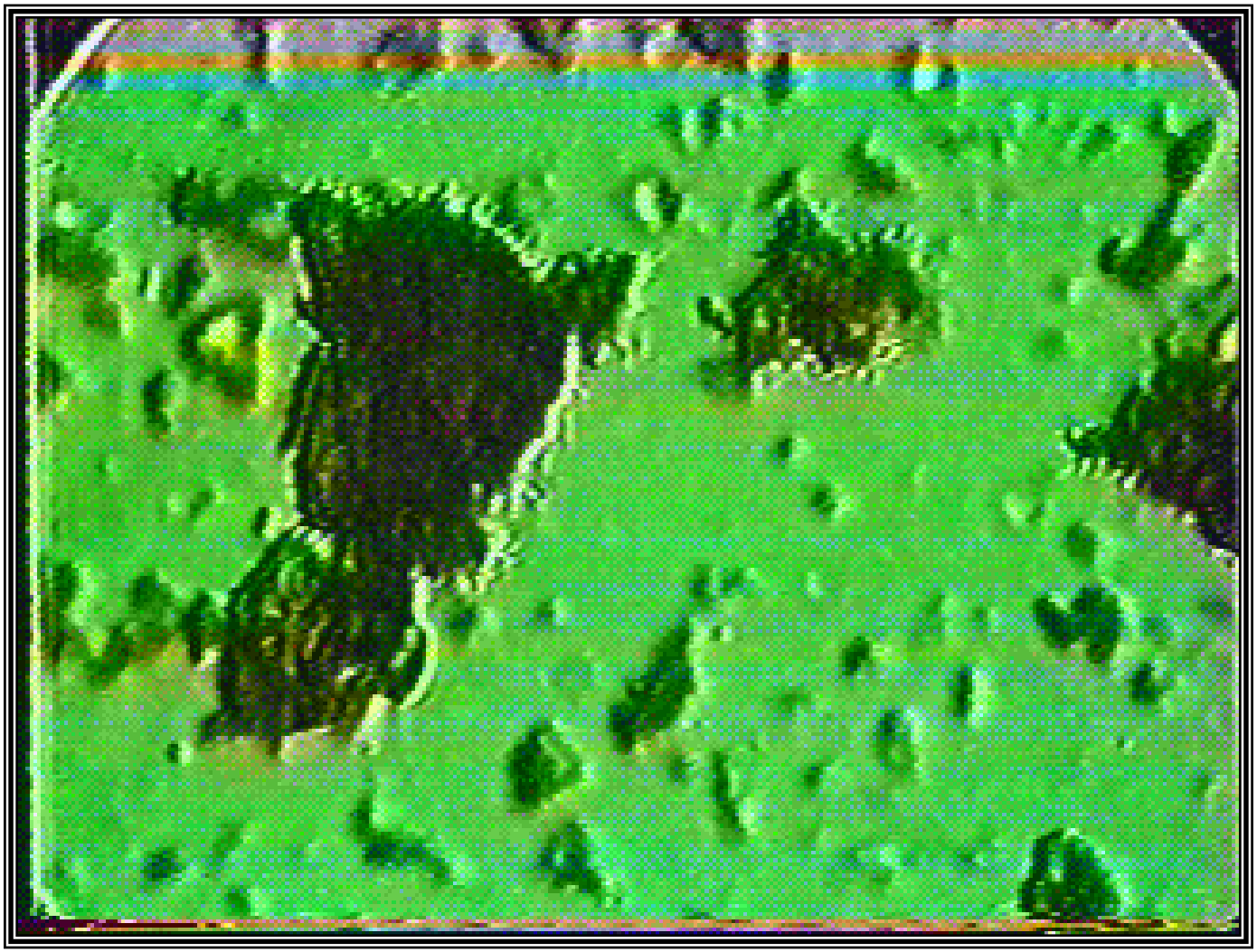




ÇİMENTO



ÇİMENTO



ÇİMENTO

ÇİMENTO KARMA OKSİTLERİ

C_3S ($3CaO.SiO_2$) - HIZLI DAYANIM

C_2S ($2CaO.SiO_2$) - YAVAŞ VE SÜREKLİ DAYANIM

C_3A ($3CaO.Al_2O_3$) - KİMYASAL ETKİLERE (SÜLFATA) DAYANIKSIZLIK

C_4AF ($4CaO.Al_2O3.Fe_2O_3$) - PRİZ SICAKLIĞINI DÜŞÜRME

KARMA OKSİTLERİN HİDRATASYON REAKSİYONLARI

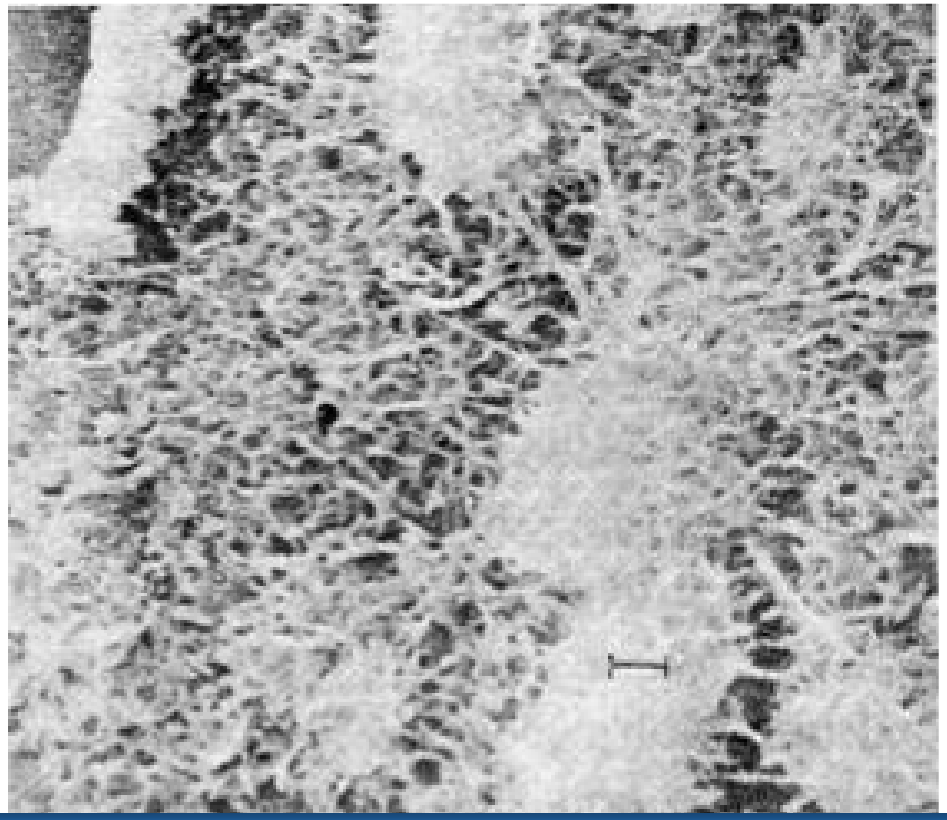
C_3S: $2(3CaO.SiO_2) + n\,H_2O \longrightarrow 3\,CaO.2SiO_2\,(n-3)\,H_2O + 3Ca(OH)_2$

C_2S: $2(2CaO.SiO_2) + n\,H_2O \longrightarrow 3\,CaO.2SiO_2\,(n-1)\,H_2O + Ca(OH)_2$

$CaO.SiO_2.H_2O$ = C – S – H = Tobermorit

ÇİMENTO

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



ÇİMENTO

KARMA OKSİTLERİN HİDRATASYON REAKSİYONLARI

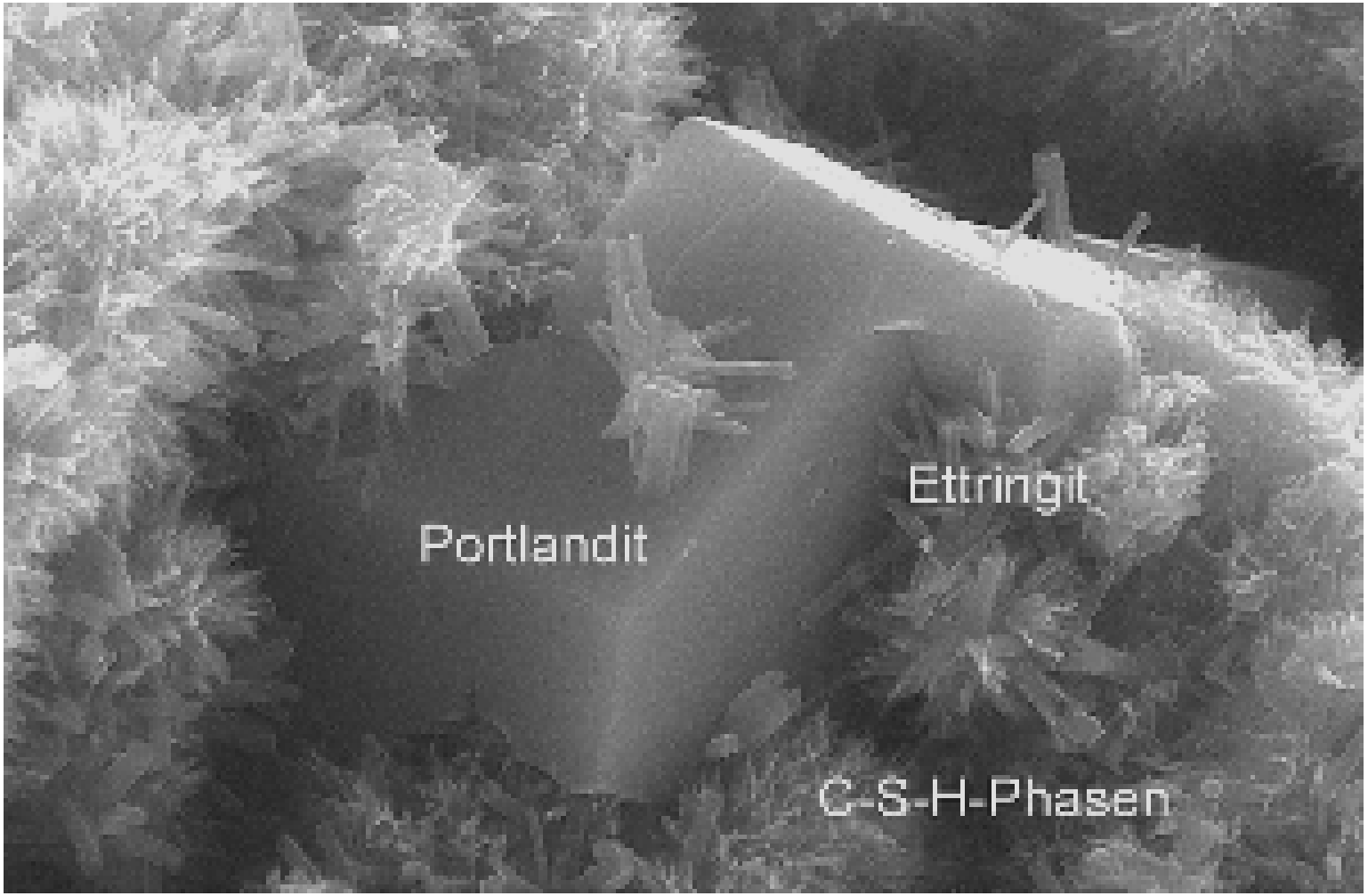
C_3S: $2(3CaO.SiO_2) + n\,H_2O \longrightarrow 3\,CaO.2SiO_2\,(n-3)\,H_2O + 3Ca(OH)_2$

C_2S: $2(2CaO.SiO_2) + n\,H_2O \longrightarrow 3\,CaO.2SiO_2\,(n-1)\,H_2O + Ca(OH)_2$

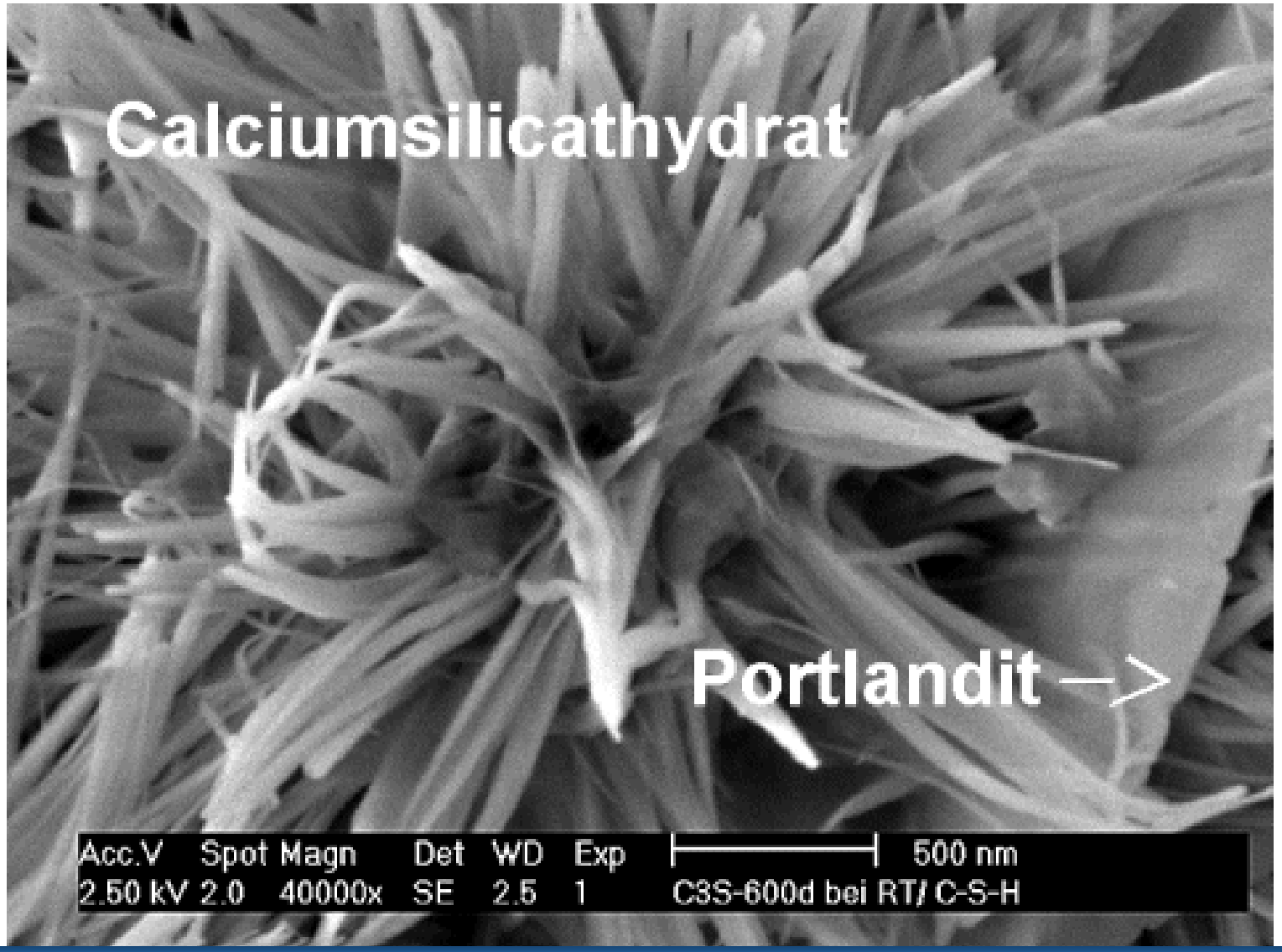
$$CaO.SiO_2.H_2O = C - S - H = \text{Tobermorit}$$

- ✓ 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

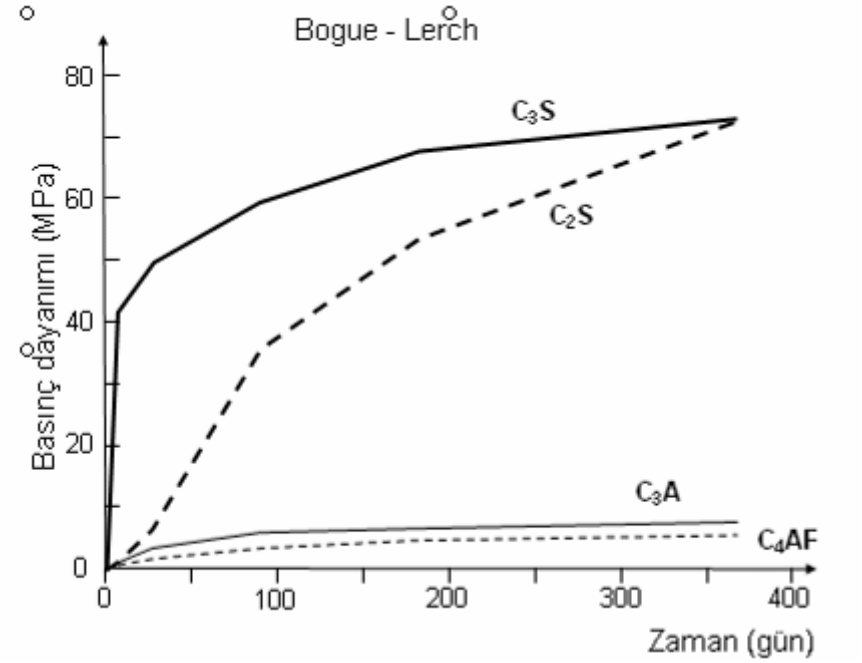


ÇİMENTO

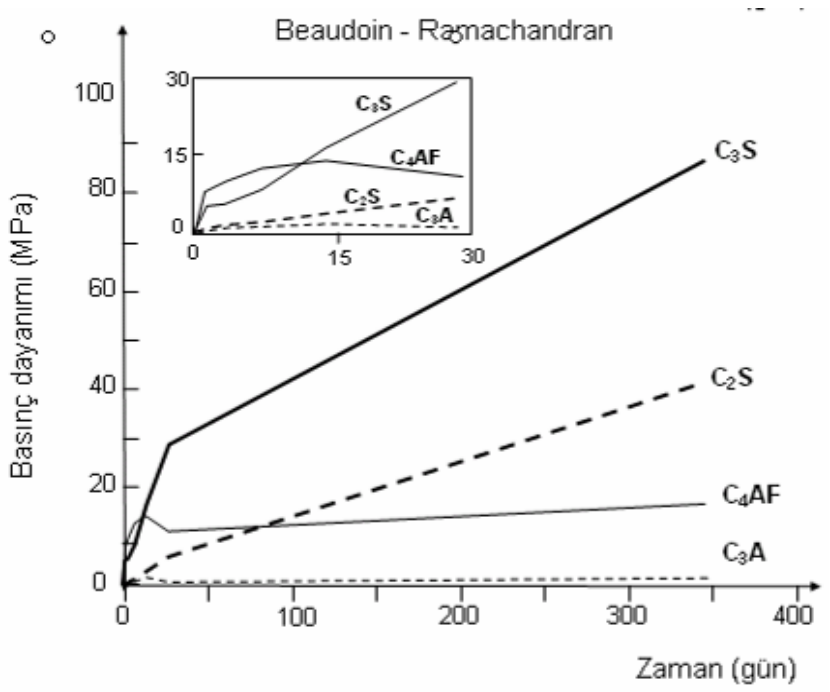

Calciumsilicathydrat
Portlandit –>
Acc.V Spot Magn Det WD Exp 500 nm
2.50 kV 2.0 40000x SE 2.5 1 C3S-600d bei RT/ C-S-H

ÇİMENTO

ÇİMENTO KARMA OKSİTLERİ



Bogue-Lerch (1934) tarafından bulunan değerler



Beaudoin-Ramachandran (1992) tarafından bulunan değerler

ÇİMENTO KARMA OKSİTLERİ

C_3S : Belite

C_3S: $2(3CaO.SiO_2) + n\ H_2O \longrightarrow 3\ CaO.2SiO_2\ (n-3)\ H_2O + 3Ca(OH)_2$

- ✓ C_3S silikatının en önemli özelliği çimentonun prizini çabuklaştırması ve hızlı dayanım kazandırmasıdır.

ÇİMENTO

ÇİMENTO KARMA OKSİTLERİ

C_2S : Alite, Felite

C_2S: $2(2CaO.SiO_2) + n\ H_2O \longrightarrow 3\ CaO.2SiO_2\ (n\text{-}1)\ H_2O + Ca(OH)_2$

- ✓ 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 KARMA OKSİTLERİ

Sönmüş Kireç oluşumu

C_3S: $2(3CaO.SiO_2) + n\ H_2O \longrightarrow 3\ CaO.2SiO_2\ (n-3)\ H_2O + 3Ca(OH)_2$

C_2S: $2(2CaO.SiO_2) + n\ H_2O \longrightarrow 3\ CaO.2SiO_2\ (n-1)\ H_2O + Ca(OH)_2$



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 KARMA OKSİTLERİ

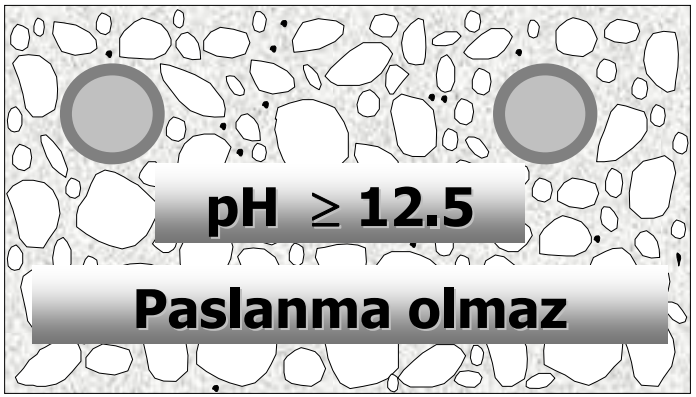
Sönmüş Kireç oluşumu

C_3S: $2(3CaO.SiO_2) + n\,H_2O \longrightarrow 3\,CaO.2SiO_2\,(n-3)\,H_2O + 3Ca(OH)_2$

C_2S: $2(2CaO.SiO_2) + n\,H_2O \longrightarrow 3\,CaO.2SiO_2\,(n-1)\,H_2O + Ca(OH)_2$

Olumlu etki

- ✓ Serbest kirecin varlığı nedeniyle oluşan bazik ortam da çelik donatının paslanması engellemektedir.



pH<9.5 - 11.5 ise PASLANMA !!
(ORTAMDA O_2 ve SU MEVCUTSA)

ÇİMENTO KARMA OKSİTLERİ

Sönmüş Kireç oluşumu

C_3S: $2(3CaO.SiO_2) + n\,H_2O \longrightarrow 3\,CaO.2SiO_2\,(n-3)\,H_2O + 3Ca(OH)_2$

C_2S: $2(2CaO.SiO_2) + n\,H_2O \longrightarrow 3\,CaO.2SiO_2\,(n-1)\,H_2O + Ca(OH)_2$

Olumlu etki

- ✓ Serbest kirecin varlığı nedeniyle oluşan bazik ortam da çelik donatının paslanması engellemektedir.



ÇİMENTO KARMA OKSİTLERİ

C_3A

$$3CaO.Al_2O_3 + 6H_2O \rightarrow 3CaO.Al_2O_3.6H_2O + ısı$$

$$3CaO.Al_2O_3.6H_2O + Ca(OH)_2 + 6H_2O \rightarrow 4CaO.Al_2O_3.13H_2O$$

- ✓ C_3A sertleştikten sonra oldukça zayıf dayanımlı bir hidrat oluşur.
- ✓ Prize ilk başlayan öğe olan C_3A hızla priz yapıp yüksek hidratasyon ısısı açığa çıkarır.
- ✓ C_3A'nın hızlı prizi denetim altına alınmazsa, çimento tümüyle katılaşır ve silikatların oluşmasına olanak kalmaz.
- ✓ C_3A'nın priz hızı üretim aşamasında **klinkere katılan alçı taşı** ile yavaşlatır.

ÇİMENTO KARMA OKSİTLERİ

C_3A

C_3A + Alçıtaşı

Etrenjit %227 hacim artışı

$$3CaO.Al_2O_3.6H_2O + 3(CaSO_4.2H_2O) + 19H_2O \rightarrow 3CaO.Al_2O_3.3CaSO_4.31H_2O$$

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



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

ÇİMENTO KARMA OKSİTLERİ

C_3A

C_3A + Alçıtaşı

Etrenjit %227 hacim artışı

$$3CaO.Al_2O_3.6H_2O + 3(CaSO_4.2H_2O) + 19H_2O \rightarrow 3CaO.Al_2O_3.3CaSO_4.31H_2O$$

- ✓ C_3A ve alçı taşının birleşmesiyle oluşan
- ✓ "Candlot tuzu" veya "etrenjit "(ettringite) ($3CaO.Al_2O_3.3CaSO_4.31H_2O$) içerdiği çok miktardaki hidrat suyu nedeniyle büyük bir hacim kaplar.

- ✓ Taze betonda ortam sıvı halde olduğundan bu durum sakıncalı değildir.

ÇİMENTO

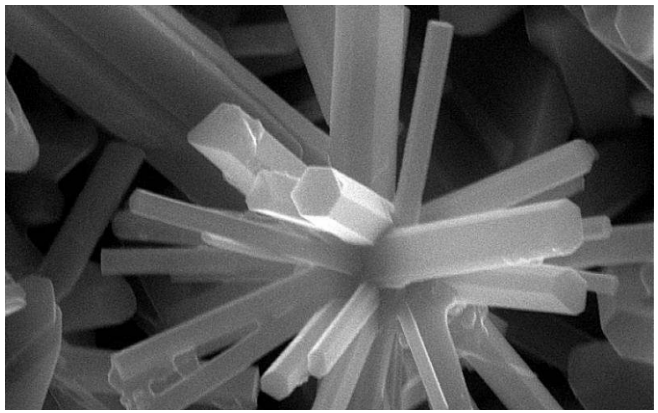
ÇİMENTO KARMA OKSİTLERİ

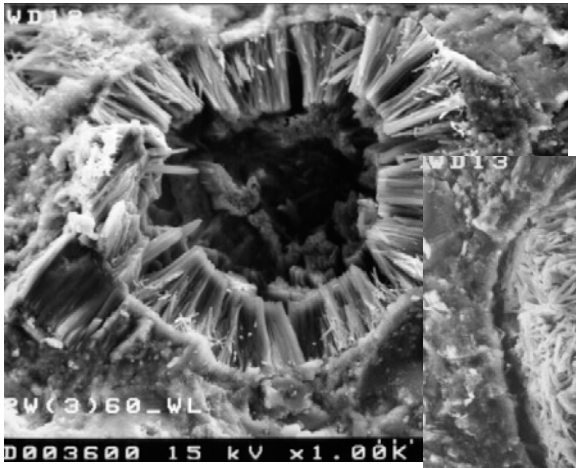
C_3A

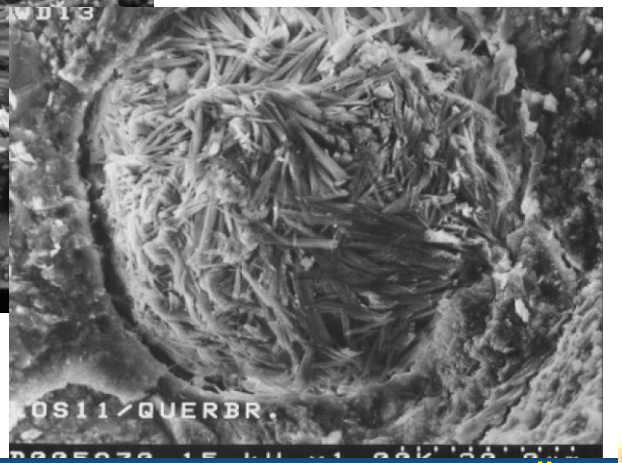
C_3A + Alçıtaşı

Etrenjit %227 hacim artışı

$$3CaO.Al_2O_3.6H_2O + 3(CaSO_4.2H_2O) + 19H_2O \rightarrow 3CaO.Al_2O_3.3CaSO_4.31H_2O$$







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 ısının açığa çıkmasıyla olusan bu olaya **"ani (flash) priz"** denilir.

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.

ÇİMENTO

ÇİMENTO KARMA OKSİTLERİ

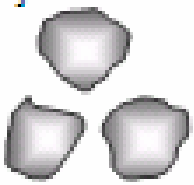
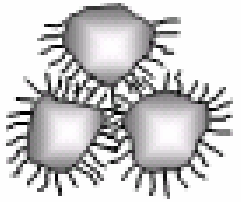
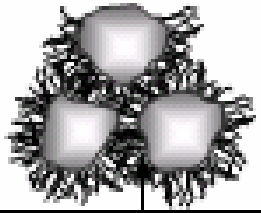
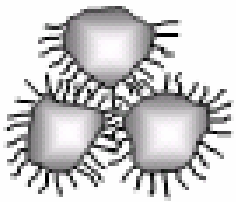
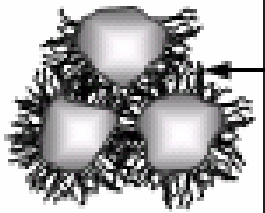
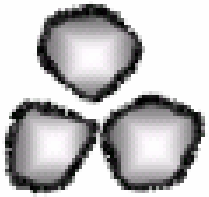
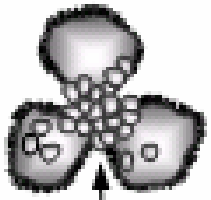
C_3A — **Yalancı Priz**

- ✓ 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.

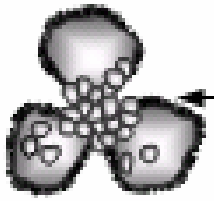
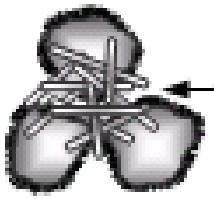
ÇİMENTO

PRİZ OLAYI

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

ÇİMENTO

PRİZ OLAYI

Klinkerdeki C_3A'nın reaktifliği	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_{18} ve $C_4A\bar{S}H_{18}$		
5. Durum düşük	yüksek	yalancı priz 	alçıtaşı iğneciklerinin boşluklarda kristalizasyonu		

ÇİMENTO

ÇİMENTO KARMA OKSİTLERİ

C_3A



C_3A + Cl Klor iyonları

- ✓ Cl^- iyonları betonarme yapılarda donatıya ulaştıkları taktirde klorit korozyonuna sebep olmaktadırlar.
- ✓ C_3A'nın çimentoya sağladığı olumlu bir etki Cl- iyonlarını bağlama yeteneğine sahip olmasıdır.
- ✓ C_3A Cl iyonları ile reaksiyona girerek Friedel tuzu oluşturur.

$$3CaO.Al_2O_3.CaCl_2.10H_2O$$

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.

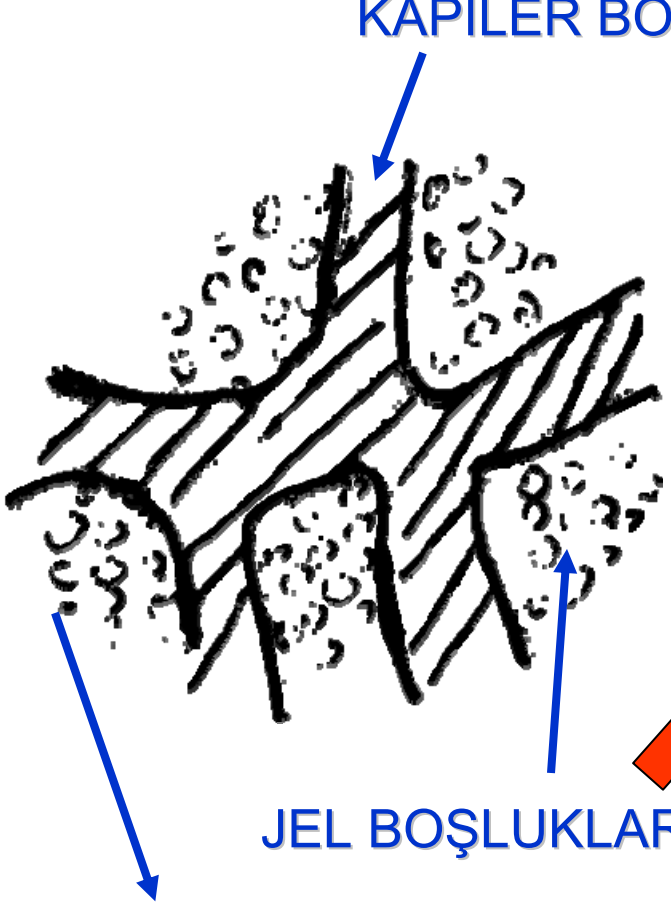
- ✓ Bunlar sülfo-aluminatlarda alumin yerine Fe_2O_3'in konulmasıyla elde edilen cisimlerdir. Ayrıca alçıtaşının az miktarda olması halinde, C_4AF'nin hidratasyonu sonunda ($3CaO.Fe_2O3.H_2O$), ($CaO.Fe_2O3.H_2O$), ($3CaO.Al_2O3.H_2O$) gibi hidrate bileşimlerin meydana gelme olasılığı vardır.

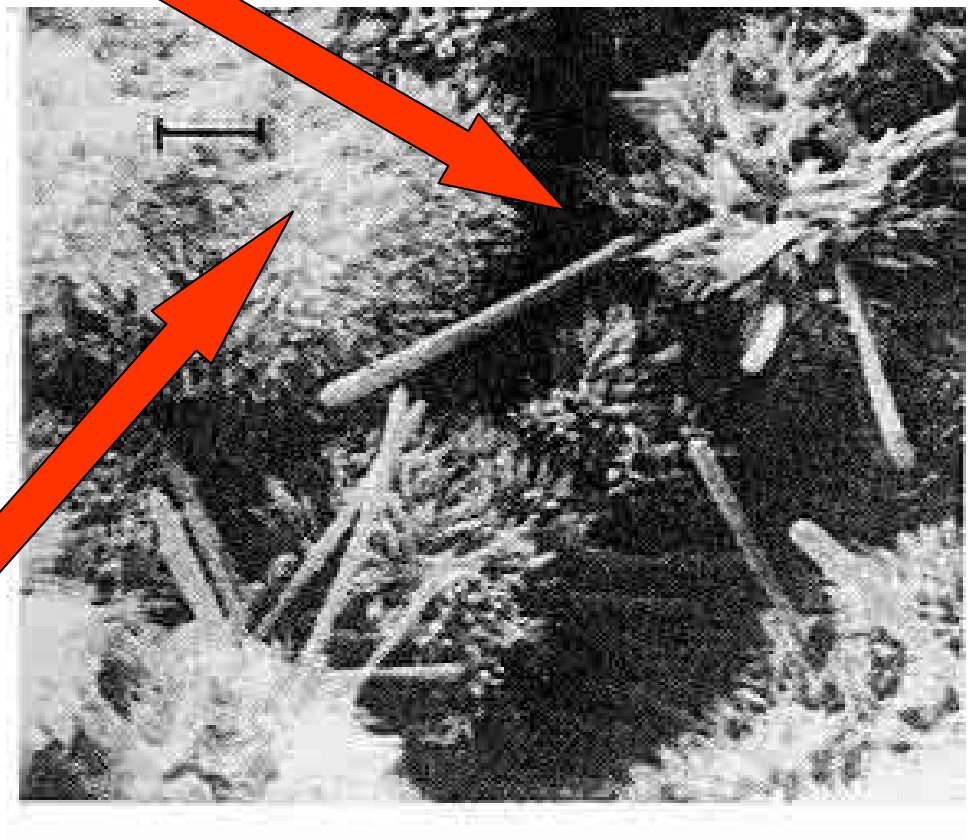
ÇİMENTO

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





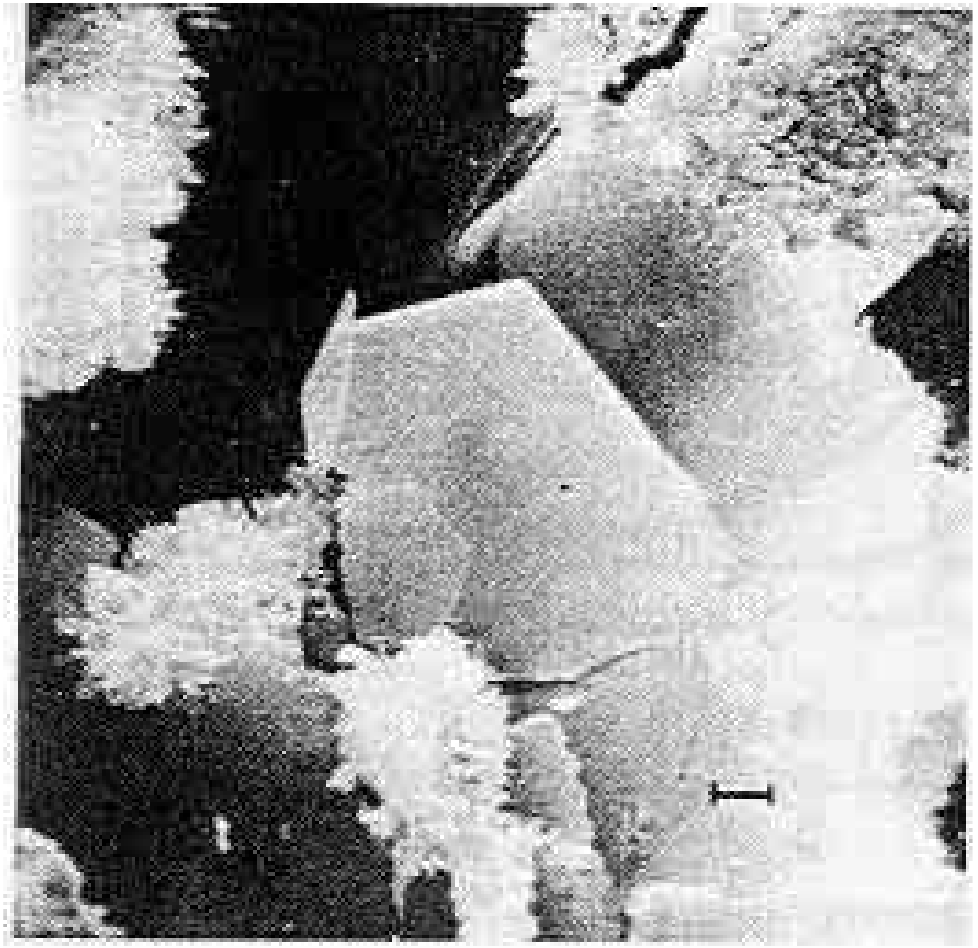
JEL PARTİKÜLLERİ (lifsi Yapı, Amorf, Çapraz Bağlı, 90 A°) CSH + CAH, vb. HİDRATE BİLEŞENLER + $Ca(OH)_2$ + HİDRATE OLMAMIŞ ÇİMENTO + SU BOŞLUKLARININ BIRAKTIĞI GÖZENEKLER.

ÇİMENTO

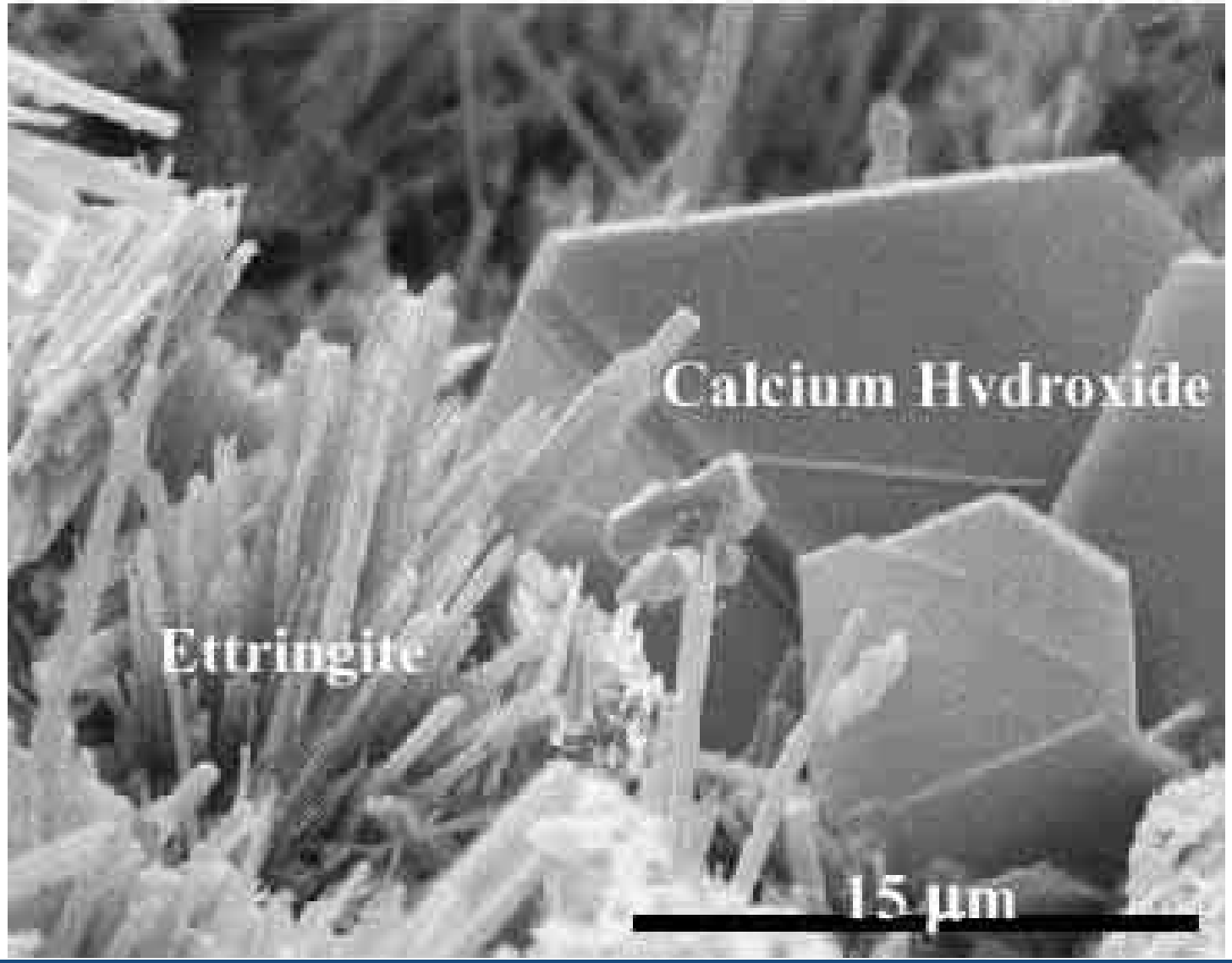


ÇİMENTO

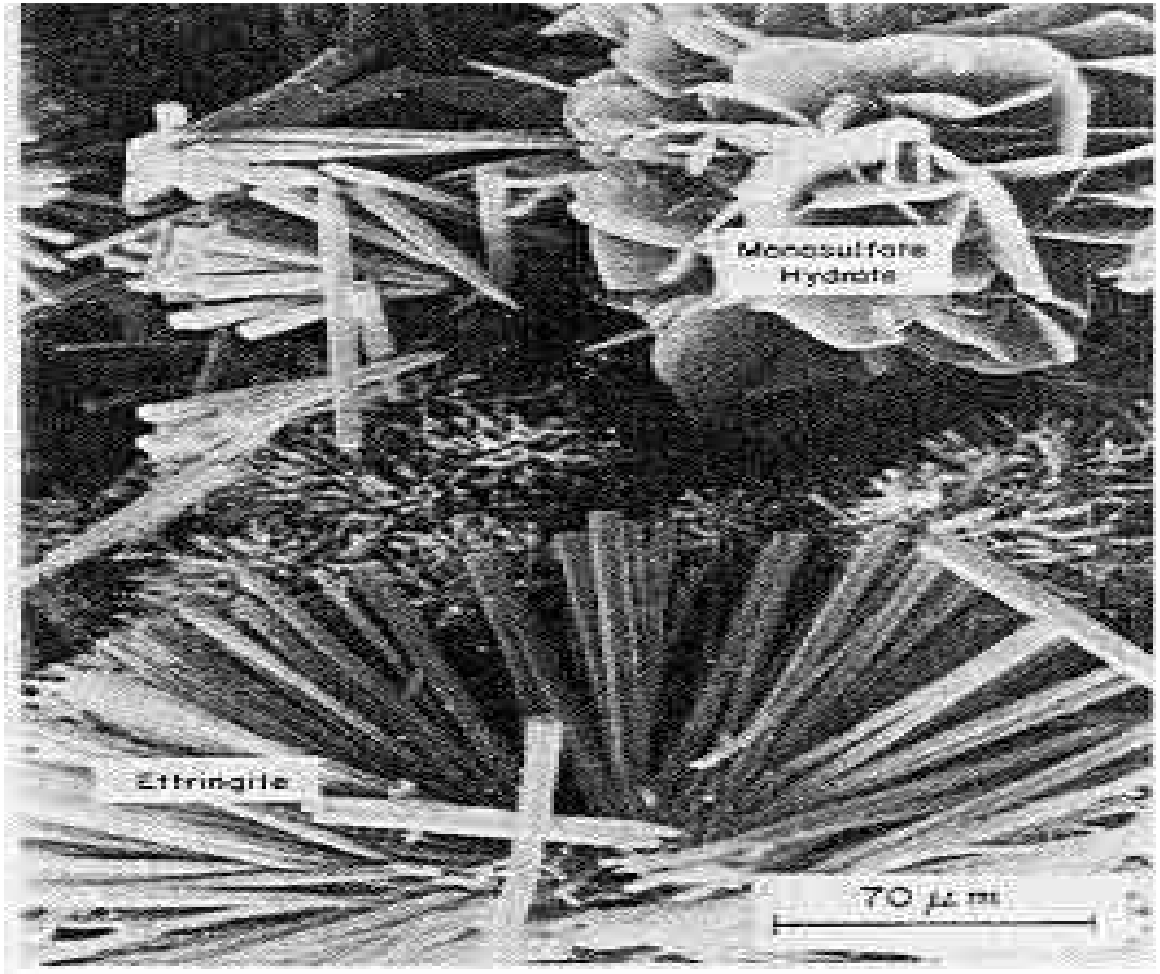
$Ca(OH)_2$ ve CSH kristalleri (S/Ç=0.6 24ºC'de 5 gün hidrate olmuş)



ÇİMENTO

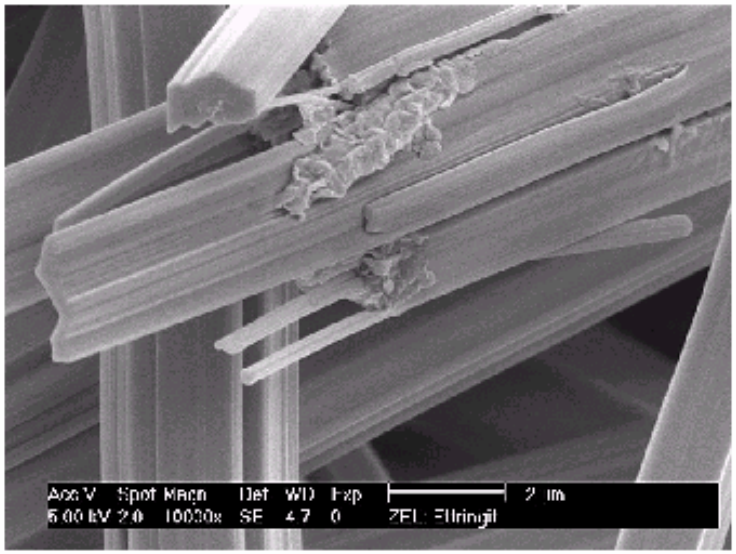


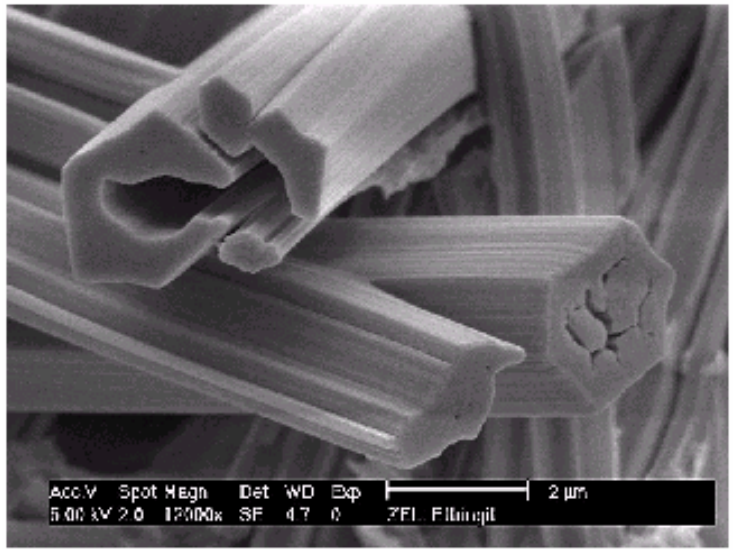
Monosulfat Alimünat ve etrenjit'in hekzegonal kristal yapısı

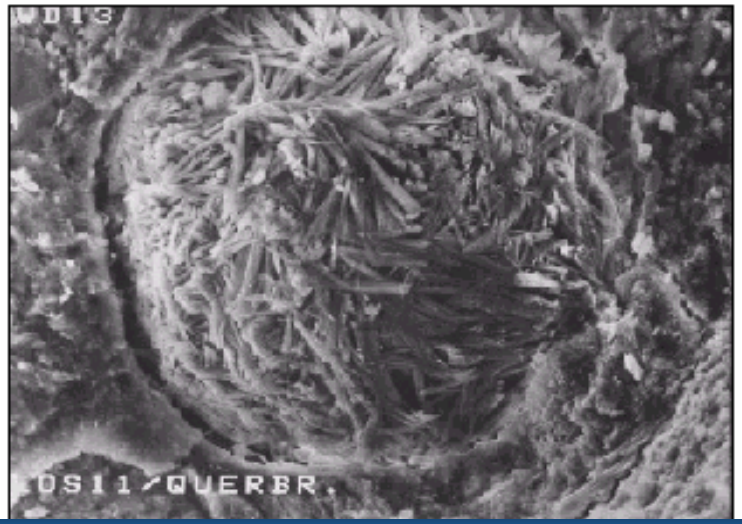


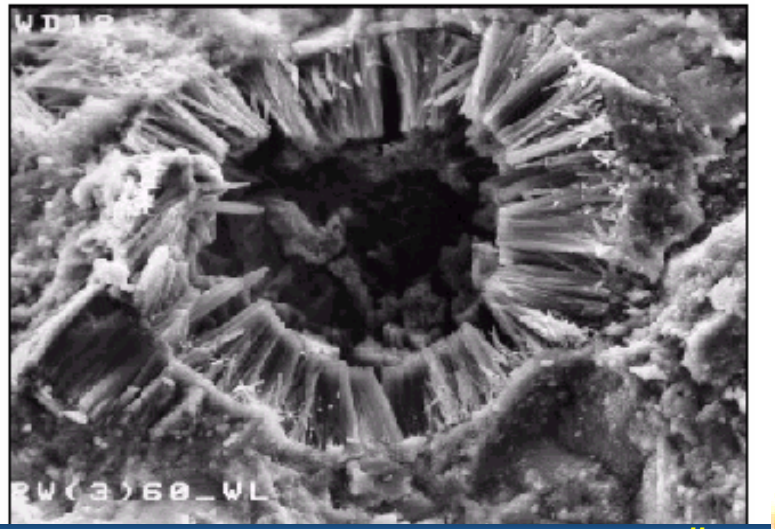
ÇİMENTO

ETRENJİT



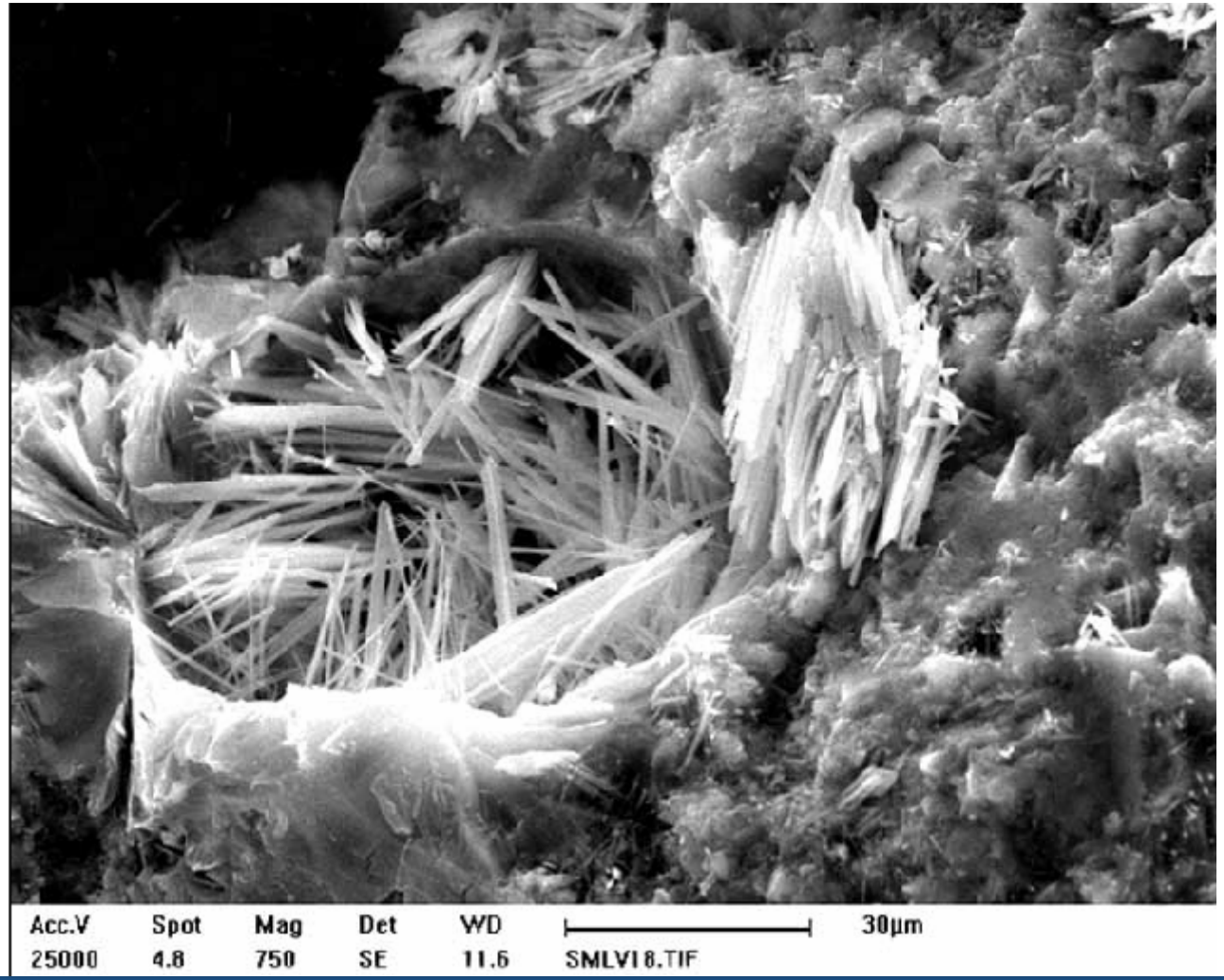






ÇİMENTO

Etrenjit



Monosülfat



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

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.

BOUGE FORMÜLLERİ

- ✓ $Al_2O_3/Fe_2O_3 \geq 0.64$ olması durumunda

$$C_4AF(\%) = 3.043Fe_2O_3$$

$$C_3A(\%) = 2.650Al_2O_3 - 1.692Fe_2O_3$$

$$C_3S(\%) = 4.071CaO - 7.600SiO_2 - 6.718Al_2O_3 - 1.43Fe_2O_3 - 2.852SO_3$$

$$C_2S(\%) = 2.687SiO_2 - 0.7544C_3S$$

- ✓ $Al_2O_3/Fe_2O_3 < 0.64$ ise C_3A oluşmaz.
- ✓ Daha koyu renkteki Ferrari Çimentosu oluşur.
- ✓ Ayrıca Bogue formüllerini puzolan katkılı çimentolar için kullanmak doğru değildir.

ÇİMENTO

Sayısal Örnek 2

✓ Aşağıda kimyasal bileşimi ve incelikleri verilen A ve B çimentolarının

	A	B
CaO	61	65
SiO_2	23	21
Al_2O_3	6	9
Fe_2O_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 hidratasyon ısısının daha yüksek olması beklenir?, neden?

ÇİMENTO

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

$$\text{Kireç Standartı} = \frac{Ca0 - (\text{Serbest } CaO + 0.7\ SO_3)}{2.8\ Si0_2 + l.l\ Al_2O_3 + 0.7\ Fe_2O_3} \times 100$$

$$\text{Silis modülü} = \frac{Si0_2}{Al_2O_3 + Fe_2O_3}$$

$$\text{Hidrolik modül} = \frac{Si0_2}{Si0_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3}$$

$$\text{Alumin modülü} = \frac{Al_2O_3}{Fe_2O_3}$$

- ✓ Kireç standardının % 90-95 arasında, Silis modülünün 2.2-2.6 arasında, Hidrolik modülün l.8-2.2, Alümin modülünün l.5-2.0 arasında değerler alması istenir.

ÇİMENTO

ÇİMENTODA İZİN VERİLEN DEĞERLER

TS EN 197-1'e göre

- ✓ Klorür muhtevası % 0.1'den,
- ✓ $S0_3$ 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±25°C) kızdırılması sonucu çimentoyu terkeden nem ve karbondioksitten ileri gelir.
- ✓ Çok az miktardaki su, çimento üretiminde kullanılan alçı taşının ($CaSO_4.2H_2O$) bünyesinden ve havadan bir miktar nem alınmasından kaynaklanır.
- ✓ Karbondioksit ise, çimentonun havadan karbondioksit alarak karbonatlaşma yapmasından kaynaklanır.

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

Yrd. Doç. Dr. Hayri ÜN

Pamukkale Üniversitesi

2007 - BAHAR



EN İYİ ÇİMENTO

YOK!

AMACA UYGUN ÇİMENTO SEÇİMİ

VAR!

ÇİMENTOLARIN GENEL ÖZELLİKLERİ ve DENEYLERİ

ÇİMENTOLARIN İNCELİĞİ

- ✓ Çimento tanelerinin aktifliği ve hidratasyon sonucu daha yüksek dayanımlar verebilmesi ince öğütülmelerine bağlıdır.
- ✓ 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 % l4'ü geçmemesi istenir.

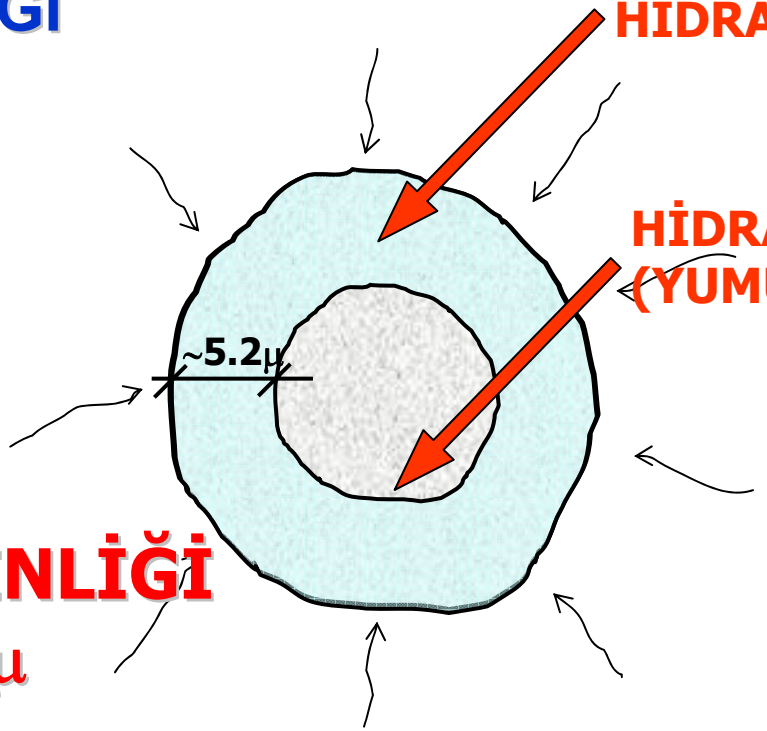
ÇİMENTOLARIN İNCELİĞİ

HİDRATASYON DERİNLİĞİ

HİDRATE OLMAMIŞ ÇİMENTO TANECİĞİ

ORTALAMA ÇAP
D = 30μ

HİDRATASYON DERİNLİĞİ
ÜÇ AYDA ~ 5.2 μ



ÇİMENTOLARIN İNCELİĞİ DENEYLERİ

- ✓ Çimentoların bu özelliği değişik yöntemlerle saptanır.



- ✓ Bunlardan biri çimentoyu 74 mikron göz boyutlu elekten eleyerek, bu çaptan küçük tanelerin miktarını saptamaktır.

ÇİMENTOLARIN GENEL ÖZELLİKLERİ ve DENEYLERİ

ÇİMENTOLARIN İNCELİĞİ DENEYLERİ



- ✓ Diğer yöntem "özgül yüzey alanı" yöntemidir.
- ✓ Özgül alan 1 g çimentoda bulunan taneciklerin yüzey alanlarının kapsadığı toplam yüzey alanıdır, cm^2/g olarak gösterilir.
- ✓ Deney, standart koşullarda sıkıştırılan çimento tabakasından, havanın geçme zamanını ölçme esasına dayanır.

ÇİMENTOLARIN İNCELİĞİ DENEYLERİ



- ✓ Bu yöntem TS EN 196-6 ve ASTM C 204 gibi standartlarda açıklanmaktadır.

- ✓ Blaine sayısının 3000 cm^2/g civarında olması istenir. Türkiye'de üretilen çimentoların inceliği 2800-4000 cm^2/g civarındadır.

ÇİMENTOLARIN İNCELİĞİ DENEYLERİ

✓ İnceliğin betona olumlu ve olumsuz yönleri:

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 büzülmeye neden olur ve çatlamaya eğilimi fazladır
e) İnce çimentolu karışımların terlemesi, iri taneli çimento karışımlarından 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 PRİZ SÜRESİ

- ✓ Priz özelliğine bağlı olarak çimentoların kullanım yerleri farklıdır.
- ✓ Örneğin, su kaçaklarını önlemek amacıyla hızlı priz yapan (8 - l5 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, hidratasyon 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 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.

ÇİMENTOLARIN PRİZ SÜRESİ



- ✓ Daha sonra Vicat iğnesi denilen standart bir iğne kendi ağırlığı ile belirli yükseklikten üzerine düşürülür. Batma miktarları ölçülür.
- ✓ Bu işlem belirli zaman aralıklarında tekrarlanır. Önceleri çok batan iğne, sonraları çok az batar ve belirli süre sonra hiç batmaz.

ÇİMENTOLARIN PRİZ SÜRESİ





- ✓ İğne ucunun kalıbın tabanından **3-5 mm** uzaklıkta olması halinde, **priz başlamış demektir.**
- ✓ İğne **0.5 mm** battığı zaman ise **priz sona ermiştir.**
- ✓ **Priz sürelerinin belirlenmesi için kullanılacak yöntemler TS EN 196-3'de ve ASTM C 191'de belirtilmiştir.**

ÇİMENTOLARIN PRİZ SÜRESİ

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









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 HİDRATASYON ISISI



- ✓ Özellikle barajlar gibi büyük kütle betonlarının üretiminde iş gereği hizlı 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 HİDRATASYON ISISI

- ✓ Çimentonun inceliği hidratasyon ısısını arttıran bir faktördür. Ancak çimentonun karma bileşenlerininde hidratasyon ısısı üzerine etkisi önemlidir.

Karma bileşen	İlk 48 saatte çıkan ısı (cal/g)	Toplam Isı (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 hidratasyon ısıları ise kalorimetre cihazı ile ölçülebilmektedir.



ÇİMENTOLARIN ÖZGÜL AĞIRLIĞI

- ✓ Çimentoların özgül ağırlığı tiplerine göre değişir.

- ✓ Normal portland çimentosunun özgül ağırlığı 3.10-3.15 civarında,

  katkılı (traslı ve curuflu) çimentolarda ise
  2.90 civarındadır.

ÇİMENTOLARIN ÖZGÜL AĞIRLIĞI

- ✓ Çimentoların özgül ağırlığı tiplerine göre değişir.



- ✓ Çimentonun özgül ağırlığı Le Chatelier balonu adı verilen özel bir cam kap içinde gazyağı kullanılarak belirlenir.

ÇİMENTOLARIN MEKANİK DAYANIMI





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

ÇİMENTOLARIN MEKANİK DAYANIMI

✓ çimentonun dayanımını etkileyen faktörleri aşağıdaki gibi sıralayabiliriz:

a) Zamana ait faktörler
b) Çimento özelliklerinin dayanım üzerine etkileri
c) Ortam koşulları ile ilgili faktörler

ETKİLEYEN FAKTÖRLER

- ✓ SICAKLIK
- ✓ BAĞIL NEM

} Kür koşulları

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

SICAKLIK ETKİSİ

EN UYGUN SICAKLIK

NORMAL BETONDA

10 - 15°C

BARAJ vb KÜTLE BETONLARINDA

5 - 10°C

SICAKLIK > 32°C

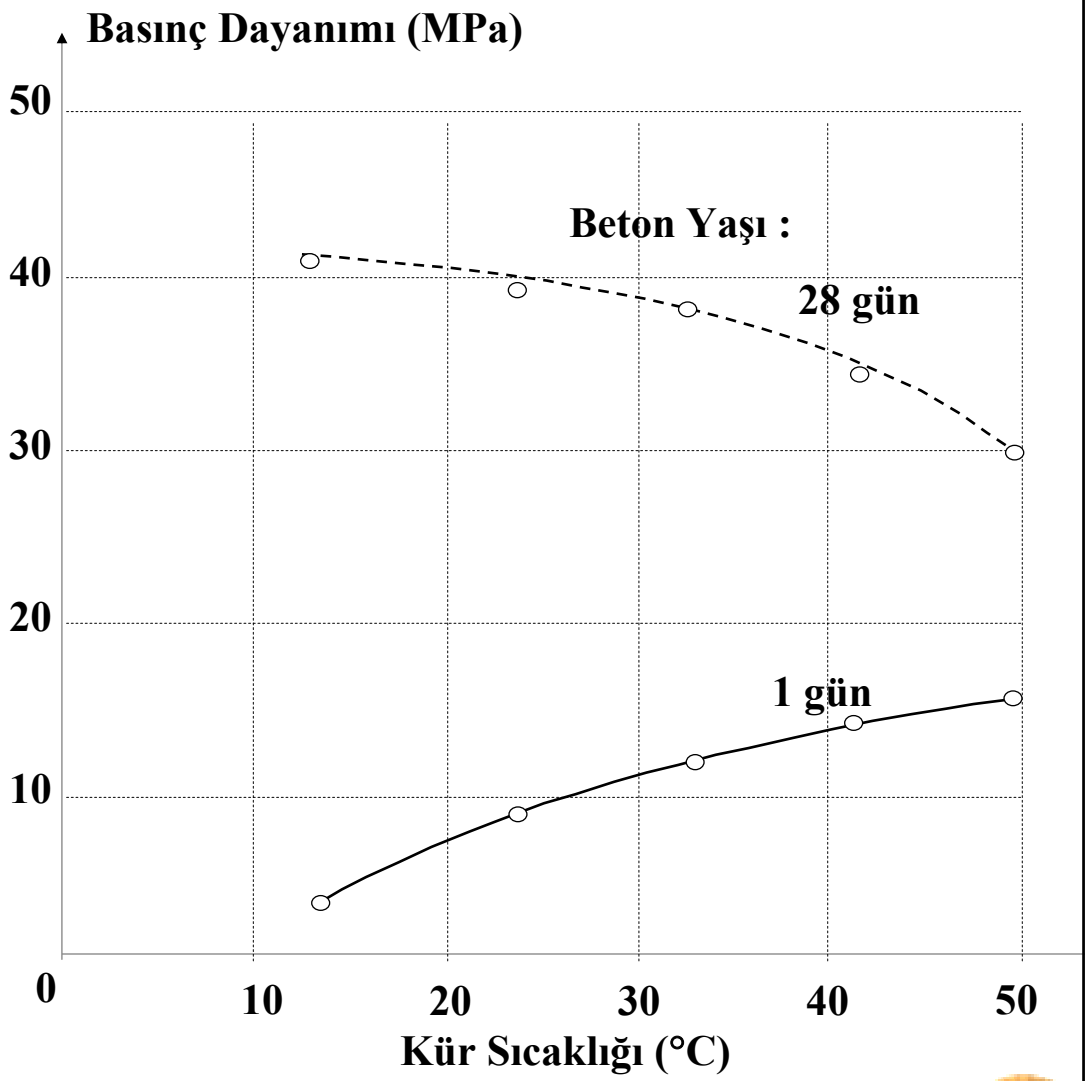
veya SICAKLIK < 5°C ise

ÖNLEM ALINMALIDIR.

SICAKLIK ETKİSİ

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

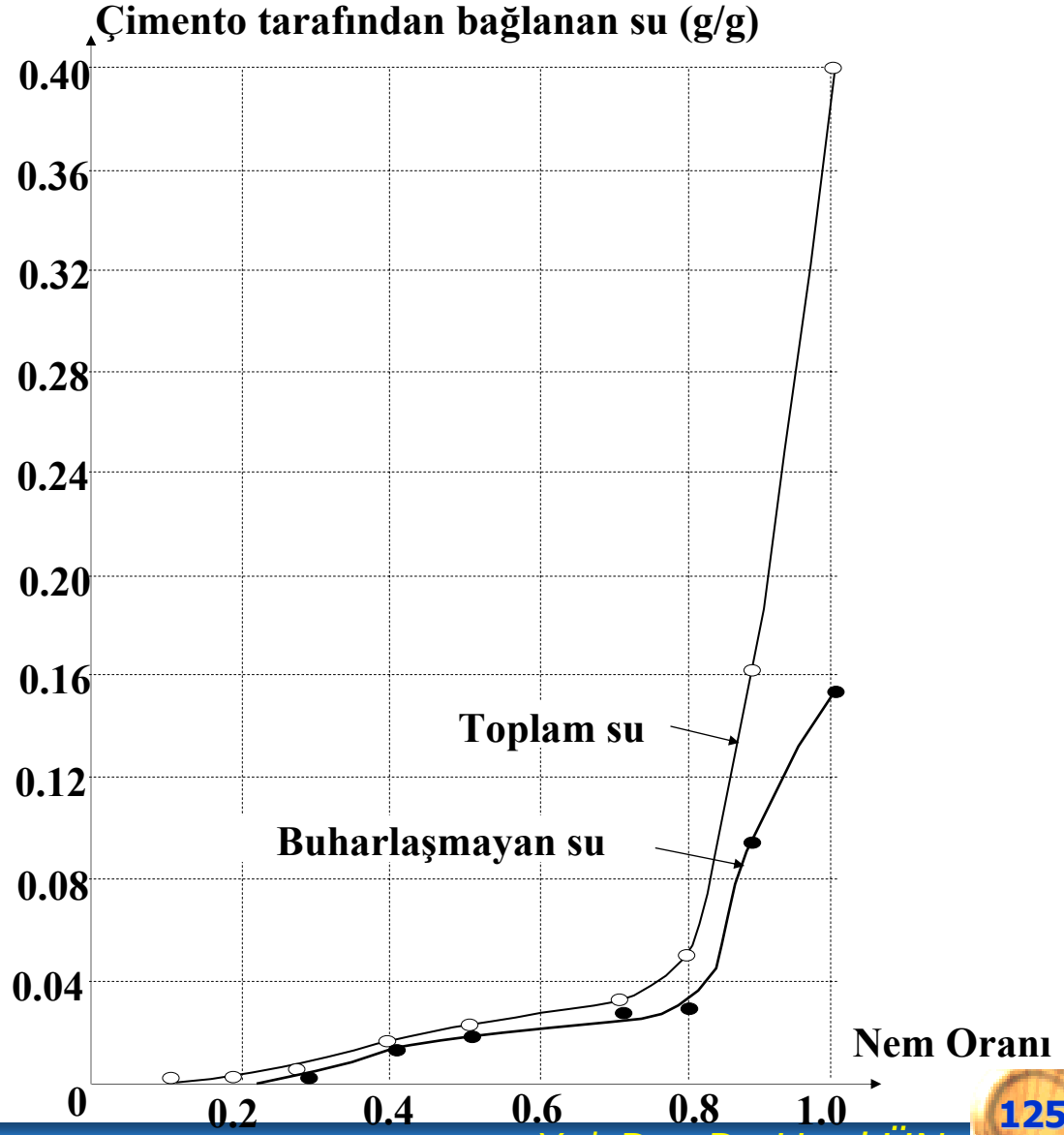
Nedeni: Hızla erken gelişen hidratasyonun daha zayıf bir yapı oluşturmasıdır.



NEM ETKİSİ

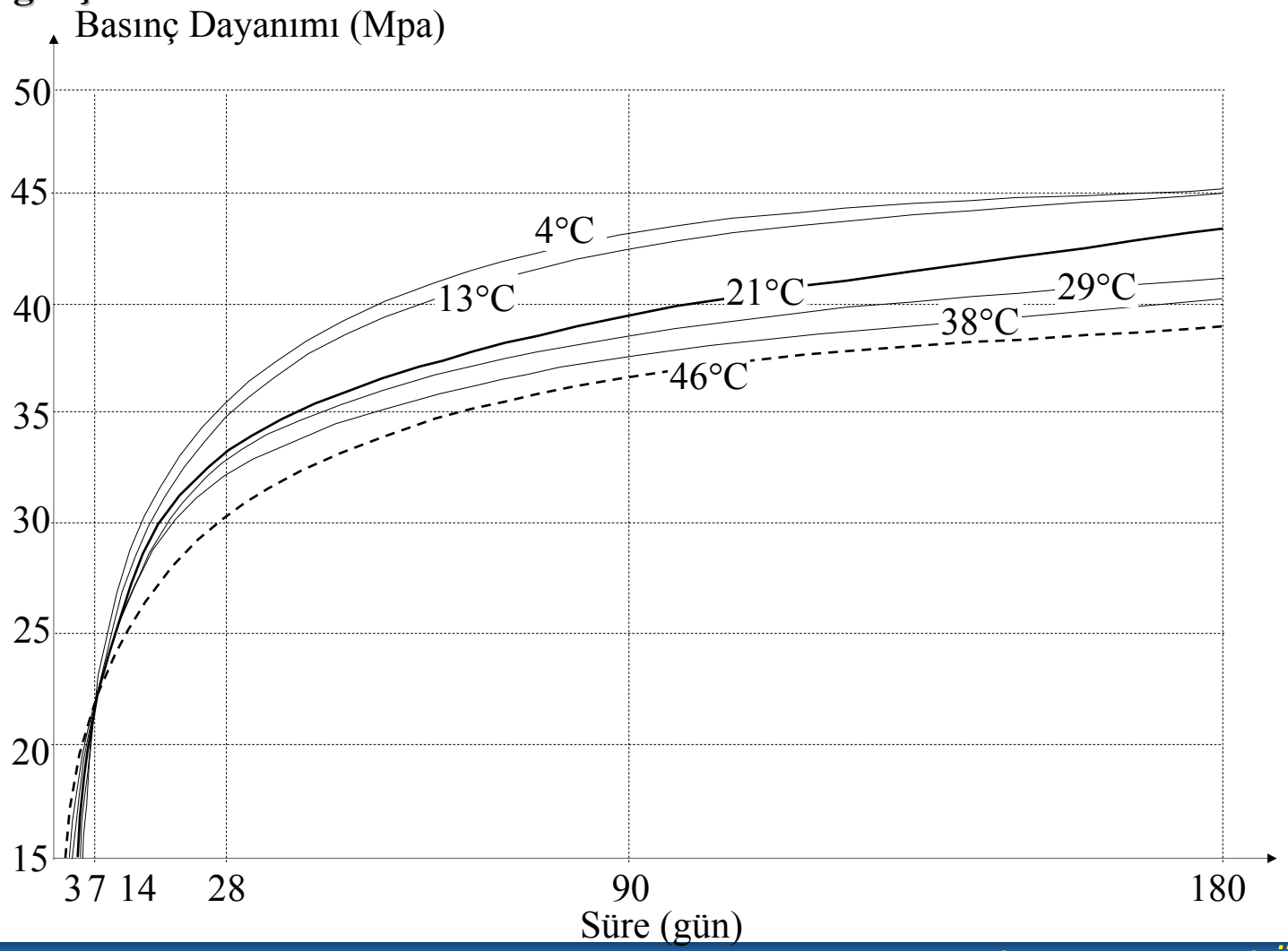
Çimentonun hidratasyonun sürekli olabilmesi için ortamda suyun bulunması gerekmektedir.

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

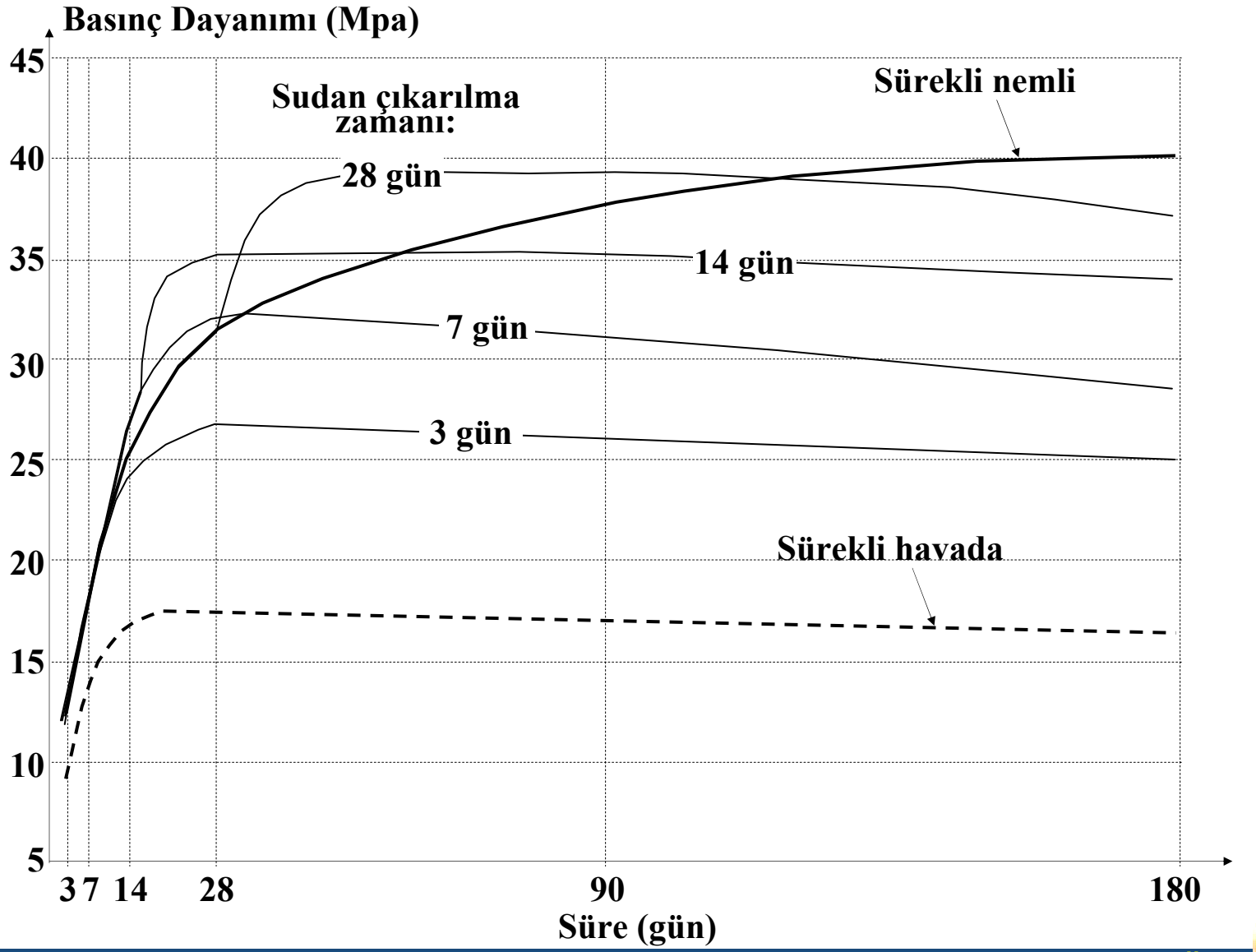


SICAKLIK ETKİSİ

Karışımdan sonraki ilk iki saatteki sıcaklığın betonun dayanım gelişimine etkisi



NEM ETKİSİ


Basınç Dayanımı (Mpa)
45
40
35
30
25
20
15
10
5
Sudan çıkarılma zamanı:
28 gün
14 gün
7 gün
3 gün
Sürekli nemli
Sürekli havada
3 7 14 28 90 180
Süre (gün)

PRİZ HIZLANDIRMA YÖNTEMLERİ

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

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



PLASTİK RÖTRE ÇATLAĞI



RÖTRE

- **HİDROLİK RÖTRE**
  - BOŞLUKLARDAKİ SUYUN KAYBI
- **TERMİK RÖTRE**
  - KÜTLE BETONLARINDA İÇ-DIŞ 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

$$3Ca(OH)_2+CO_2 \rightarrow CaCO_3+H_2O$$

RÖTRE

ÇİMENTO ÖZELLİKLERİNİN RÖTREYE ETKİSİ

- ✓ Rötre oluşumunda çimento ile ilgili faktörlerin en önemlilerinden biri inceliktir.
- ✓ İnceliğin artmasıyla daha fazla çimento tanesi aynı zamanda hidratasyona katılarak önemli miktarda rötre 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 rötre üzerinde önemli bir etkisi olup olmadığı ise tartışılan bir konudur.
- ✓ Bazılarına göre böyle bir etki pratik yönden mevcut değildir. Çimentonun bazı genleştirici maddeleri içermesi nedeniyle bu görüşe katılmak mümkün olmamaktadır.
- ✓ Çimentoda birleşmemiş kireç (CaO), MgO ve SO_3 gibi hacim genleşmesi yapan maddelerin standartlarda belirtilen miktarların biraz daha üzerinde bulunması rötreyi önemli derecede azaltabilir.
- ✓ Bu hacim genleşmesi yapan maddelerin miktarlarını uygun seçmek suretiyle rötresiz (genleşen) çimento yapılabilmektedir.

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 hirratasyonu 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.

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_o uzunluğu hassas bir şekilde ölçülür.
  Daha sonra atmosferde t gün tutulan prizmanın rötresi:

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

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 (Ca0), magnezi (Mg0) ve $S0_3$'dür.
- ✓ Bunların su ile yaptıkları reaksiyon sonucu önemli bir hacim artması meydana gelir.

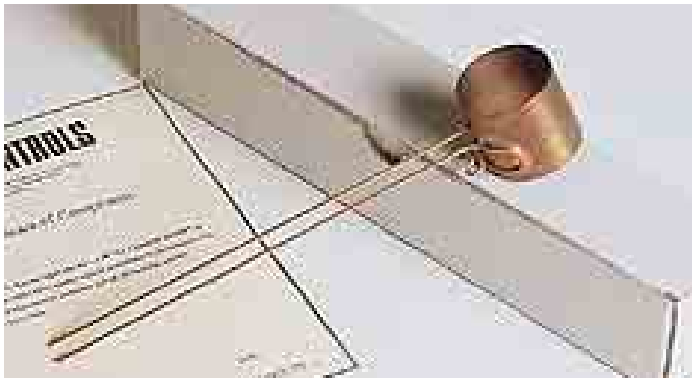
LE CHATELİER DENEYİ

- ✓ 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.



LE CHATELİER DENEYİ

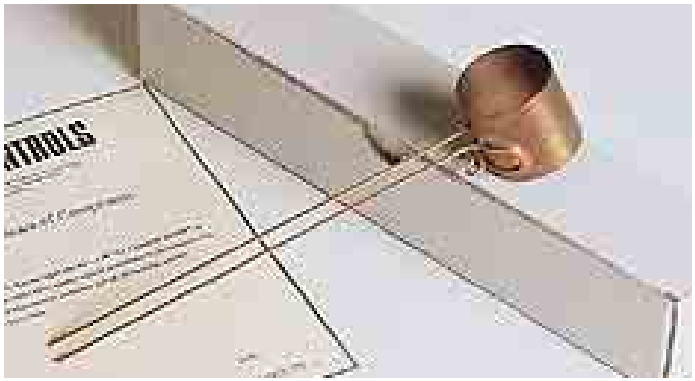


- ✓ Bu deneyde kullanılan alet 30 mm çaplı yarık bir silindir ve yarık kenarlara bağlı 150 mm uzunluğundaki iğnelerden ibarettir

- ✓ 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)**

LE CHATELİER DENEYİ



- ✓ Sudan çıkarılan kalıp tekrar suya konur ve 30±5 dakikada kaynama noktasına gelinceye kadar ısıtılır.
- ✓ 3saat ± 5 dakika kaynar su içinde kalan kalıp çıkarılarak, tekrar iğne uçları arası uzaklık ölçülür **(b)**
- ✓ Daha sonra kalıbın 20±2°C'a kadar soğuması sağlandıktan sonra iğnenin iki ucu arasındaki uzaklık tekrar ölçülür **(c).**
- ✓ **c - a ≤ 10 mm** olması istenir.

ÇİMENTO

SO_3

- ✓ $S0_3$ çimento içine hammaddelerden, katkılardan veya kullanılan yakıttan girmektedir.
- ✓ Ayrıca klinkere eklenen alçı taşından kaynaklanan $S0_3$ sülfo - aluminat 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.



ESKİ ÇİMENTO TİPLERİ

PÇ (TS 19)

- PÇ 32.5
- PÇ 42.5
- PÇ 52.5

KATKILI ÇİMENTOLAR

- KÇ 32.5
- TÇ 32.5

- **BEYAZ ÇİMENTO (BPÇ 32.5, BPÇ 42.5)**
- **YÜKSEK FIRIN CURUFLU(CÇ 32.5, CÇ 42.5)**
- **SÜLFATA DAYANIKLI (SDÇ 32.5)**

KATKILI ÇİMENTOLAR

ÇİMENTO TİPİ	İŞARET	PÇ KLİNKERİ	YÜKSEK FIRIN CURUFU	SİLİKA TOZU	PUZOLAN		UÇUCU KÜL		PİŞMİŞ ŞİST	KALKER TOZU
					VOLKANİK, TORTUL	AKTİF KİL	SİLİSLİ	KALKERLİ		
PORTLAND KOMPOZE	PKÇ/A PKÇ/B	80-94 65-79	6-20 21-35							
PUZOLANİK	PZÇ/A PZÇ/B	65-89 45-64	-- --	11-35 36-55					--	--
KOMPOZE	KZÇ/A KZÇ/B	40-64 20-39	18-30 31-50	--	18-30 31-50				--	--
PORTLAND CURUFLU	PCÇ/A PCÇ/B	80-94 65-79	6-20 21-35	--	--	--	--	--	--	--
PORTLAND KALKERLİ	PLÇ/A PLÇ/B	80-94 65-79	--	--	--	--	--	--	--	6-20 21-35

YENİ 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 cüruflu çimento
- ✓ CEM IV Puzolanlı çimento
- ✓ CEM V Kompoze çimento

YENİ 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.

YENİ 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 katkılar)
- ✓ **minör ilave bileşen,** (örn. uçucu kül, yüksek fırın cürufu, kalker, doğal puzolan)
- ✓ **priz ayarlayıcı,** (örn. kalsiyum sülfat; alçıtaşı)
- ✓ **kimyasal katkılar,** (örn. pigmentler, hava sürükleyici katkılar).

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	-				

YENİ ÇİMENTO TİPLERİ

TS EN 197-1'e göre Çimento Türleri

CEM II/A-S 42,5 N

- Alt-sınıf "N" normal erken dayanımı, "R" hızlı erken dayanım
- Standart dayanım sınıfları
- Alt-tip, ikinci ana bileşen (bu örnekte yüksek fırın cürufu)
- Portland çimentosu klinkerinin oranı (A) yüksek, (B) orta ve (C) düşük
- Ana çimento tipi

TS EN 197-1'e göre Çimento Türleri

Ana tipler	Genel çimento tipleri		Bileşim (kütlece % olarak)										
			Ana bileşenler										Minör ilave bileşen
			Klinker K	Yüksek fırın cürufu S	Silis dumanı D	Puzolan		Uçucu kül		Pişmiş şist T	Kalker		
						Doğal P	Doğal kalsine edilmiş Q	Silissi V	Kalkersi W		L	LL	
CEM I	Portland Çimento	CEM I	95-100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5

YENİ ÇİMENTO TİPLERİ (TS-EN197)

Ana tipler	Genel çimento tipleri		Bileşim (kütlece % olarak)									
			Ana bileşenler									Minör ilave bileşen
			Klinker K	Yüksek fırın cürufu S	Silis dumanı D	Puzolan		Uçucu kül		Pişmiş şist T	Kalker	
						Doğal P	Doğal kalsine edilmiş Q	Silissi V	Kalkersi W		L	LL
CEM II	Portland cüruflu 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

YENİ ÇİMENTO TİPLERİ

TS EN 197-1'e göre Çimento Türleri

Ana tipler	Genel çimento tipleri		Bileşim (kütlece % olarak)										
			Ana bileşenler										Minör ilave bileşen
			Klinker K	Yüksek fırın cürufu S	Silis dumanı D	Puzolan		Uçucu kül		Pişmiş şist T	Kalker		
						Doğal P	Doğal kalsine edilmiş Q	Silissi V	Kalkersi W		L	LL	
CEM III	Yüksek fırın cüruflu 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 öğütülmüşlerdir.
- ✓ 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 değillerdir.

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_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

Portland Tipi Çimento Türleri

- ✓ Amerikan ASTM sınıflandırılmasına göre;

  Bir Portland çimentosunun

  hangi hızla hidratasyon yapacağı,

  hangi hızla ve ne kadar hidratasyon ısısı açığa çıkaracağı,

  hangi hızla dayanım kazanabileceği ve

  hangisinin sülfat etkilerine daha dayanıklı olabileceği,

  karma bileşenlerinin miktarlarına bağlı olarak anlaşılabilmektedir.

ÇİMENTO TİPLERİ

Portland Tipi Çimento Türleri

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

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

- ✓ III.tip çimentonun diğerlerine göre daha fazla C_3S içermesi ve C_3S'nin erken dayanıma katkısı bulunması nedeni ile III.tip çimentonun erken dayanımı yüksek olmaktadır.
- ✓ 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
I	100	100	100	100
II	75	85	90	100
III	190	120	110	100
IV	55	55	75	100
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

- ✓ Bu çimento yaklaşık %95-%100 klinker kullanılarak üretilir.
- ✓ Ancak içinde çok az oranda (%5) ilave bileşenler de ($CaSO_4$ ve yardımcı öğütücü maddeler dışında) bulunabilir.

- ✓ Klinker bileşiminde C_3S ve C_2S miktarlarının klinker kütlesinin 2/3 ünden az ve CaO/SiO_2 oranının kütlece 2.0'den az olmaması sınırları bulunmaktadır.
- ✓ MgO içeriği en fazla %5 olarak sınırlandırılmıştır.

ÇİMENTO TİPLERİ

Ultra Erken Dayanımı Yüksek Çimento





- ✓ Bu tip çimentolar, hızlı dayanım gelişimi sağlaması bakımından çok ince öğütülmüşlerdir.
- ✓ Blaine inceliği 7000-9000 cm^2/g civarındadır.

- ✓ C_3S içerikleri %45-48,
- ✓ C_3A içerikleri %14.3-14.9 arasındadır.

ÇİMENTO TİPLERİ

Ultra Erken Dayanımı Yüksek Çimento

- ✓ İnceliklerin fazla olması nedeniyle hızlı hidratasyon yapar. Çok ince ve hidratasyon 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 ısılı 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 ısılı 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 hidratasyon ısısı 60 cal/g ve 28 günlük hidratasyon 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 cm^2/g olması gerekir.

ÖZEL ÇİMENTOLAR

- ✓ Çimentolar kimyasal yapıları ve fiziksel özellikleri farklı olduğundan, hidratasyon 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

Curuflu 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 kolaylıkla görüldüğü gibi curuf, çimento üretiminde özel işlemlerle kil yerine kullanılabilir.
- ✓ Ayrıca agrega yerine de beton üretiminde kullanılır.
- ✓ Bu malzemenin üçüncü kullanım şekli ise, bir bağlayıcı maddeye (Portland çimentosu, kireç, alçı gibi) karıştırılarak kullanılmasıdır.

ÖZEL ÇİMENTOLAR

Curuflu Çimentolar

- ✓ Curuf aniden soğutulup, amorf ve camsı yapıya gelince, Portland klinkeri ile karıştırılıp, alçı taşı eklenmesinden sonra birlikte öğütülerek veya ayrı ayrı öğütüldükten sonra karıştırılması ile çimento haline getirilir.

- ✓ Curufun klinkere oranla daha zor öğütülebilir olması, birlikte öğütme koşullarında klinkerin ince, curufun ise daha kaba kalması durumunu ortaya çıkarır. Bu nedenle ayrı ayrı öğütme koşullarında elde edilen curuflu çimento ile yapılan betonlarda, işlenebilirlik ve dayanım bakımından daha iyi sonuçlar alınmaktadır.

ÖZEL ÇİMENTOLAR

Curuflu Çimentolar

- ✓ Curuflu 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 curuflu çimentoların zararlı kimyasal etkiler altında performanslarının yüksek olduğu belirlenmiştir.

ÖZEL ÇİMENTOLAR

Curuflu Çimentolar

✓ Cüruflu çimentoların özellikleri aşağıdaki şekilde özetlenebilir :

a) Mekanik dayanımları ilk günlerde, aynı miktarda çimento ve S/Ç oranı için Normal Portland çimentolarına kıyasla düşüktür.

b) Curuflu çimentolar 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 bu çimentolar baraj inşaatı gibi büyük kütleli yapılar için uygundur.

ÖZEL ÇİMENTOLAR

Curuflu Çimentolar

✓ Cüruflu çimentoların özellikleri aşağıdaki şekilde özetlenebilir :

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 bir döner fırında eritilinceye (1700°C) kadar pişirilmesi ile elde edilir.
- ✓ Bu çimentolarda alumin miktarı % 30' dan fazladır.
- ✓ Aluminli çimentonun esas karma bileşenleri kalsiyum aluminat (CA) ve dikalsiyum silikat (C_2S) dır.
- ✓ Bu çimento asit karakterli olduğundan asitlerden zarar görmez.

ÖZEL ÇİMENTOLAR

Aluminli Çimentolar

- ✓ Genel olarak bu çimentolar aşağıdaki kimyasal bileşime sahiptir.

Ana Oksit	Ağırlıkça(%)
✓ Alumin (Al_2O_3)	40-45
✓ Kireç (CaO)	35-42
✓ Demir oksit (Fe_2O_3)	5-15
✓ Silis (SiO_2)	4-10

ÖZEL ÇİMENTOLAR

Aluminli Çimentolar

✓ **Aluminli çimentoların özellikleri aşağıdaki şekilde özetlenebilir :**

a) Bu çimentoların mekanik dayanımları hızlı bir şekilde gelişir. Aynı koşullarda 1 günlük dayanımı, Portland çimentosunun 8 aylık dayanımına eşdeğerdir.

b) Bu çimentoların 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 arası oranda katılabileceği belirtilmiş ve Portland-Uçucu küllü çimento (CEM II) olarak adlandırılmıştır.

- ✓ Uçucu küllü çimentoların, istenen mekanik özellikleri sağlayabildikleri takdirde, sülfata dayanıklılık, geçirimsizlik, düşük hidratasyon ısısı gibi olumlu yönleri vardır.

ÖZEL ÇİMENTOLAR

Portland Puzolanlı Çimento

- ✓ Ülkemiz için en önemli 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. Portland puzolanlı çimento üretimi, klinker, puzolanik madde ve bir miktar alçı taşı karışımının birlikte öğütülmeleri ile yapılmaktadır.

ÖZEL ÇİMENTOLAR

Portland Puzolanlı Çimento

- ✓ Fırına girmeyen malzeme miktarının fazlalığı, bu tip çimentonun üretiminin ekonomik olmasını sağlar.
- ✓ Her %1 oranında puzolan katkısının çimento maliyetine %0.5 düşüş sağladığı araştırmalar sonucu ortaya çıkmıştır.
- ✓ Bu nedenle puzolan katkılı çimento üretimi, bir çok fabrikada normal Portland çimentosu üretiminin önüne geçmiştir.
- ✓ Ülkemiz puzolan kaynakları açısından zengindir. Bu nedenle traslı çimentoların bilinçli üretimi ve bilinçli tüketimi halinde, ülkemiz açısından yararlı sonuçlar verir.

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

- ✓ Puzolanlı çimentoların olumlu ve olumsuz yönleri vardır.

- ✓ **Olumsuz yönleri:**

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

- ✓ Ancak bu özellikler her traslı çimento için geçerli olmayabilir.

ÖZEL ÇİMENTOLAR

Portland Puzolanlı Çimento

- ✓ Traslı çimentoların sorunu;
  puzolanlarda bağlanmayan silis yüzdesinin fazla olması halinde, bu silisin puzolanik aktivite göstermemesi nedeniyle, geçirimlilik ve dayanıklılık yönünden sakıncalar oluşturmasıdır.

- ✓ Bazı traslarımız yüksek oranda (%7) bağlanmayan silis içermektedir.
- ✓ Ancak CEM II/B-P için bu değer %1 ile sınırlıdır.

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, mermer tozu olan bir Portland çimentosudur.

- ✓ 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

- ✓ Bu tip çimentolar, beyaz çimento içine inceliği çimento ile aynı olan toz halindeki (% 1-5 arasında) metal oksitlerinden oluşan pigmentlerin 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 arttırarak 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 da sülfata dayanıklı çimento olarak adlandırılır.

ÖZEL ÇİMENTOLAR

Sülfata Dayanıklı Çimentolar

- ✓ Sülfata dayanıklı çimentolar, içinde 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

- ✓ Bu çimento, %80-85 oranında (en az %65) granüle yüksek fırın curufu içerir.
- ✓ Üretimde ayrıca anhidrit (%10-15 oranında $CaSO_4$) ve en çok %5 oranında PÇ klinkeri kullanılır.
- ✓ İncelikleri 4000-5000 cm^2/g'dır.

ÖZEL ÇİMENTOLAR

Süper Sülfat Çimentosu

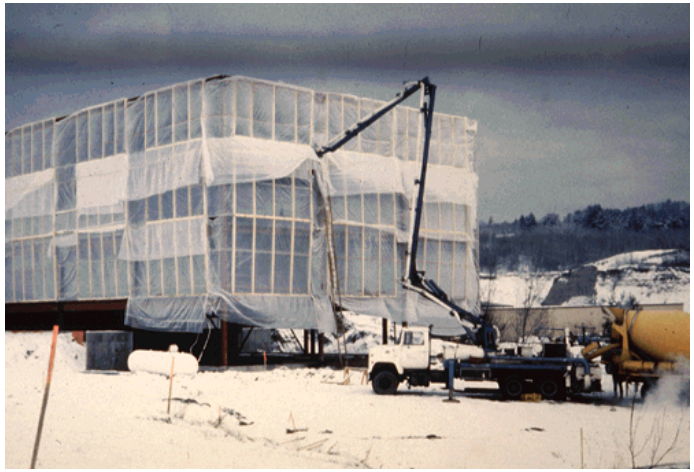
- ✓ Süper sülfat çimentosunun hidratasyon olayının gelişimi farklıdır.
- ✓ İlk günlerdeki dayanım daha çok kalsiyum-alumino-sülfohidrat (ettringite) oluşumundan ve daha sonraki dayanımlar ise CSH oluşumundan sağlanmaktadır.
- ✓ Bu çimento, kimyasal etkilere (özellikle sodyum ve kalsiyum sülfat etkilerine) dayanıklıdır.

ÖZEL ÇİMENTOLAR

Erken Dayanımı Yüksek Çimentolar



- ✓ Bu tip çimentolar ince öğütülmüş (en az 3500 cm^2/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 arttırır.

ÖZEL ÇİMENTOLAR

Hidrofob Çimentolar

- ✓ Bu tip 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 arttırır.
- ✓ Hidrofob çimento görünüş olarak normal Portland çimentosuna benzer. Fakat küf kokusu gibi bir karakteristik özelliğe sahiptir.
- ✓ Hidrofob çimentolar suyla kolay ıslanmadıklarından bu tip çimentolar kullanılarak 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. Örneğin, 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 doldurulmaları uygun olmaktadır.

ÖZEL ÇİMENTOLAR

Oil-well çimentosu

- ✓ 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

- ✓ Bu tip 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.
- ✓ Bakteriyel etkiye, gıda maddesi üreten tesislerin yer betonlarında rastlanılmaktadır. Bu gibi yerlerde, çimento üzerinde oluşan bakterilerle birlikte nemin varlığı fermentasyona yol açmaktadır.
- ✓ Ayrıca antibakteriyel çimento su depoları, yüzme havuzlarında ve bakteri, mantar bulunan benzer yerlerde de kullanılmaktadır.

ÖZEL ÇİMENTOLAR

Antibakteriyel çimento

- ✓ Ayrıca antibakteriyel çimento su depoları, yüzme havuzlarında ve bakteri, mantar bulunan benzer yerlerde de kullanılmaktadır.





ÖZEL ÇİMENTOLAR

- ✓ Bunlardan başka değişik amaçlı; örneğin, rötresiz ve genişleyen çimentolar (grout) vardır.
- ✓ Bu tip çimentolar özel dolgu, makina ankrajı vb. problemlerde kullanılır. Genelde içlerinde bir miktar aluminyum tozu vardır.
- ✓ Aluminyum tozu, hidratasyon sırasında genleşip, rötreyi engeller. Bu tip çimentolarda jips, kireç ve aluminat türü katkılar da bulunmaktadır.