

# ÇİMENTONUN HİDRATASYONU



Hazırlayan : İnş. Yük. Müh. Yasin Engin

[yasin.engin@gmail.com](mailto:yasin.engin@gmail.com)

[www.betonvecimento.com](http://www.betonvecimento.com)

## Çimentonun Hidratasyonu

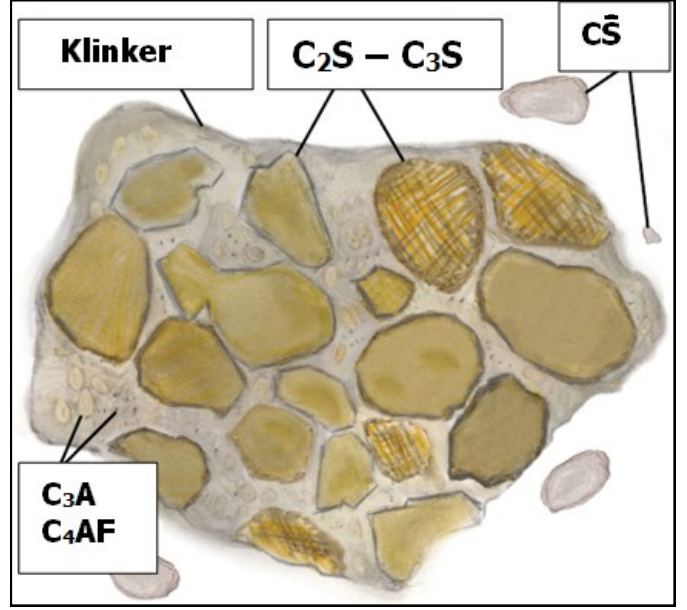
Beton bileşenleri karıştırıldıktan birkaç saat sonra plastik özeliği kaybolmuş katı bir yapı oluştururlar. Buna neden olan ve çimento ile suyun tepkimesi sonucu oluşan kimyasal reaksiyona "**hidratasyon**" denir. Su ve sıcaklığa bağlı olan hidratasyonun gelişimi ve açığa çıkardığı ısı hem üretici hem de uygulayıcı için önemlidir. Bu reaksiyonun iyi anlaşılması betonun bir çok özelliğinin daha iyi kavranmasına neden olacaktır.

### Hidratasyonun Süreçleri: Genel Bakış

Hidratasyon süreci çimento ve suyun biraraya gelmesiyle başlar. Çimento tanecikleri kısmi olarak su içerisinde çözünürler. Çözünen bileşenler değişik hızlarda ve oranlarda reaksiyona girer. Reaksiyonlar sırasında ısı açığa çıkar ve yeni ürünler meydana gelir. Oluşan yeni ürünler çimento hamurunun sertleşmesine ve agregaların çimento hamuru ile bağlanmasına neden olurlar.

Portland çimentosu, kireçtaşı ve kilin yüksek sıcaklıkta pişirilmesi ve bu işlem sonucu oluşan klinkerin alçıtaşıyla birlikte öğütülmesiyle meydana gelir. Pişirme sonucu klinker yapısında oluşan iki ana bileşen grubu (silikatlar-alüminatlar) ile sonradan ilave edilen alçı (sülfat) hidratasyon reaksiyonu sürecini doğrudan etkiler. Çimento ana bileşenleri:

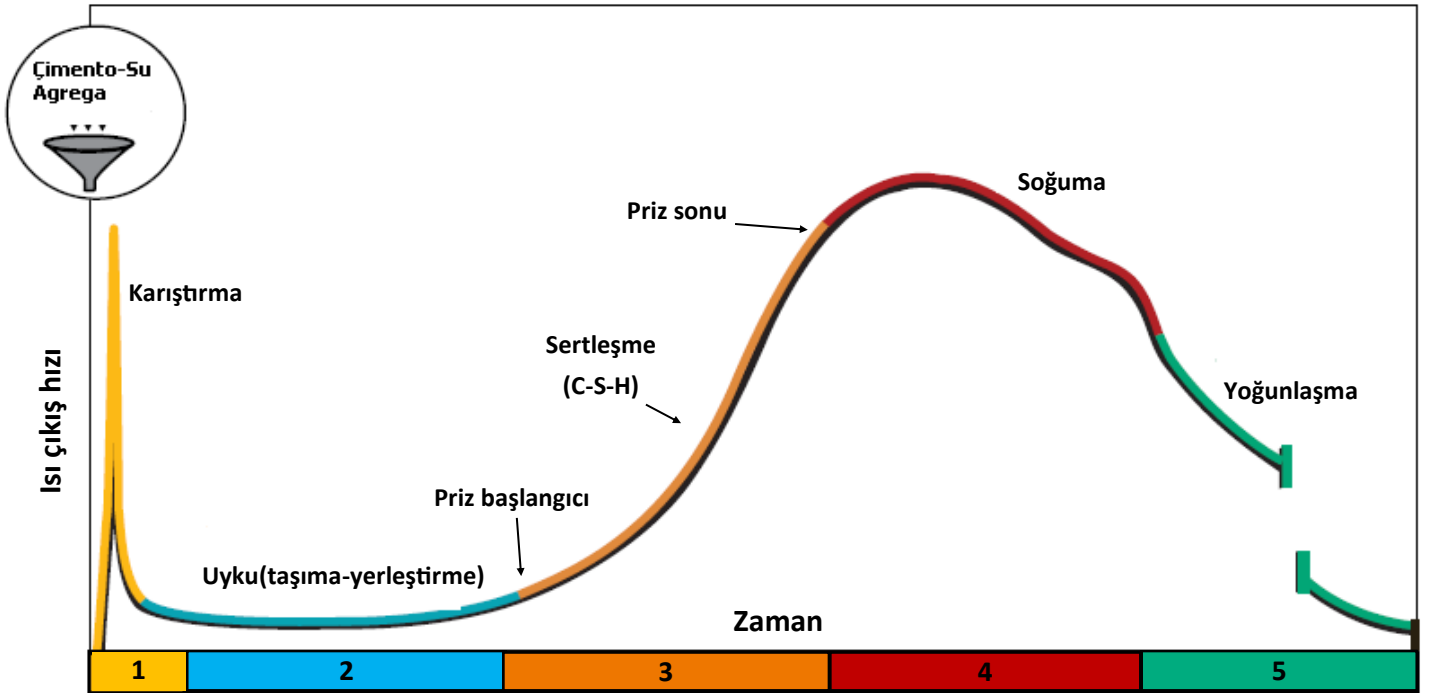
- 1) **Kalsiyum Silikatlar ( $C_3S-C_2S$ )**
- 2) **Kalsiyum Alüminatlar ( $C_3A - C_4AF$ )**
- 3) **Kalsiyum Sülfatlar ( $CS_2H$ )**



Şekil - 1: Çimento bileşenleri[1]

Bu üç ana bileşenin ortak yanı kalsiyum(Ca) içermeleridir. Bu üç ana bileşenin kimyasal özellikleri ve etkileri oldukça farklıdır. Hidratasyon reaksiyonunun süreçleri:

1. **Karıştırma süreci**
2. **Uyku süreci**
3. **Sertleşme (priz) süreci**
4. **Soğuma süreci**
5. **Yoğunlaşma süreci**



Şekil - 2: Hidratasyon süreçleri[1]

## Çimentonun Hidratasyonu

*Hidratasyon süreçlerinden bahsetmeden bu süreçlerde baş rol oynayan bileşenleri bilmek gerekir.*

**Tablo 1: Çimento ana bileşenleri[2]**

Silikatlar		Alüminatlar	
$3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$	$2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$	$3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$	$4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$
Trikalsiyum silikat ( $\text{C}_3\text{S}$ )	Dikalsiyum silikat ( $\text{C}_2\text{S}$ )	Trikalsiyum alüminat ( $\text{C}_3\text{A}$ )	Tetrakalsiyum alüminoferrit ( $\text{C}_4\text{AF}$ )

### Silikatlar:

Çimentonun yaklaşık % 20'si silisyum dioksit( $\text{SiO}_2$ ) ve %60-65'i kalsiyum oksit'ten( $\text{CaO}$ ) oluşur. Bu iki oksitin birleşmesiyle silikatlar oluşur. Silikatlar klinkerin yaklaşık % 75'ini oluşturur

### Trikalsiyum silikat - Alit( $\text{C}_3\text{S}$ ):

Çimento hacminin yaklaşık %55'ini oluşturur. Erken dayanıma etkisi vardır.

### Dikalsiyum silikat - Belit( $\text{C}_2\text{S}$ ):

Çimentonun hacminin yaklaşık %20'sini oluşturur. Geç dayanıma etkisi vardır.

### Alüminatlar:

Alümina, kalsiyum oksitle birleşerek trikalsiyum alüminat ( $\text{C}_3\text{A}$ ) ve demir oksitle birleşerek tetrakalsiyum alüminoferrite ( $\text{C}_4\text{AF}$ ) oluşturur. Alüminatlar yaklaşık olarak çimentonun %20'sini oluşturur.

Hidratasyon sırasında  $\text{C}_3\text{A}$  çok hızlı tepkimeye girer ve bu durum alçı ile kontrol edilir.

### Kısaltmalar:

**C:**  $\text{CaO}$     **S:**  $\text{SiO}_2$     **A:**  $\text{Al}_2\text{O}_3$     **F:**  $\text{Fe}_2\text{O}_3$

### Diğer Bileşenler:

Çimento içeriğinde silikatlar ve alüminatlar dışında onlarca bileşen vardır. Ancak, bu bileşenlerin hidratasyon sürecine etkileri önemli düzeyde değildir. Bunlardan en önemlileri:

- Alkaliler(  $\text{K}_2\text{O}$  ,  $\text{Na}_2\text{O}$ )
- Kükürt( $\text{SO}_3$ )
- $\text{MgO}$
- $\text{Cl}$
- $\text{MnO}$
- $\text{TiO}_2$

### Alçıtaşı:

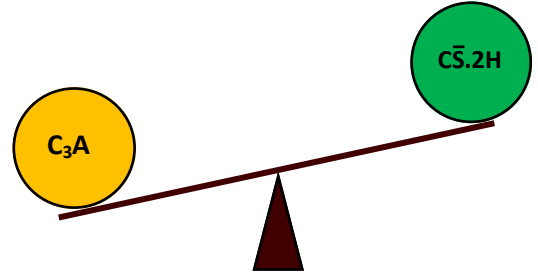
Klinkere değirmende öğütülme işlemi esnasında çimentonun yaklaşık %3-5 hacmini oluşturacak miktarda alçıtaşı( $\text{CS}\cdot 2\text{H}$ ) eklenir. Alçıtaşının eklenmesi ile  $\text{C}_3\text{A}$  tepkimesinin kontrolü için gerekli olan sülfat temin edilmiş olur.

Sülfat oranı üretici tarafından çok hassas bir şekilde optimize edilir. Aksi takdirde priz olayında sorunlar yaşanabilir. Sülfat ve alüminat içeriği bir denge içerisinde olmalıdır.

Çimento içeriğinde bulunan sülfat ile betona daha sonra giriş yapan deniz ya da yeraltı suyu kaynaklı sülfat karıştırılmamalıdır. Dış kaynaklı sülfat betona nüfuz eder ve hidratasyon ürünü olan  $\text{C}_3\text{A}$  ile tepkimeye girerek genişlemeye(hacimsel artışa) neden olur. İşte bu nedenle sülfata dayanıklı çimentoda  $\text{C}_3\text{A}$  oranı belli bir sınırdan tutulur( %5'den az).

### Ani priz(flash setting):

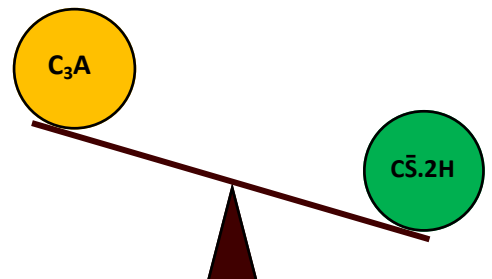
Çimentoda  $\text{C}_3\text{A}$ 'nın hızlı ve ani tepkimesini engelleyip (dengeleyip) kontrol edecek miktarda sülfat bulunmadığında ani priz meydana gelir ve beton beklenen süreden önce sertleşir. Bu durum kalıcı bir etki yaratır ve uygulamada ciddi sorunlar yaratır[3].



**Şekil 3 :** Ani priz durumunda  $\text{C}_3\text{A}$  - sülfat dengesi[1]

### Yalancı priz(false setting):

Yalancı priz, çimento içindeki sülfatın suyu kendine bağlaması ve bu nedenle geçici bir donma meydana getirmesidir. Bu durum hem sülfatın gerektiğinden fazla olmasında hem de alçının kimyasal yapısından kaynaklanabilir. Yalancı priz durumunda beton tekrar karıştırıldığında plastik özelliğine kavuşur. Yalancı priz ani prize göre zararsız bir durumdur.



**Şekil 4:** Yalancı priz durumunda  $\text{C}_3\text{A}$  - sülfat dengesi[1]

## Çimentonun Hidratasyonu

### Karıştırma Süreci

Bu süreçte alüminatlar ve alçı suda çok hızlı çözünür ve birkaç dakika içinde tepkimeye girerler. Hızlı tepkime sonucu oluşan bileşikler yüksek ısı çıkışına neden olurlar. Bu durum kontrol edilemediği takdirde beton da yalancı veya ani priz meydana gelir. Bu da istenmeyen bir durumdur.

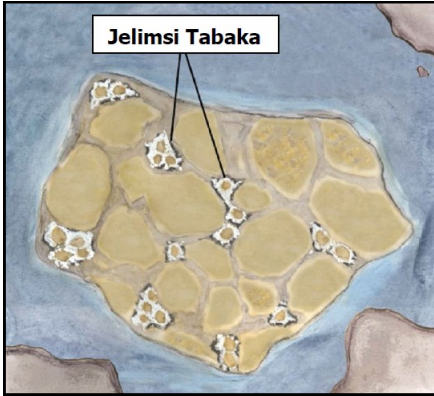
Klinkere eklenen alçının çok hızlı çözünmesi sonucu çözülmüş alüminatlar ve su ile tepkimeye girerek çimento taneciklerinin etrafında jelimsi bir tabaka oluşturur. Bu jelimsi tabaka alüminatların çok hızlı bir şekilde tepkimesini engeller ve sıcaklığı büyük ölçüde düşürür ve betonun ani priz yapması engellenir.

Silikatlar suda çok yavaş çözünür ve ani etkileri yoktur. Bu nedenle bu süreçte alüminatlar baskın bileşendir[1].

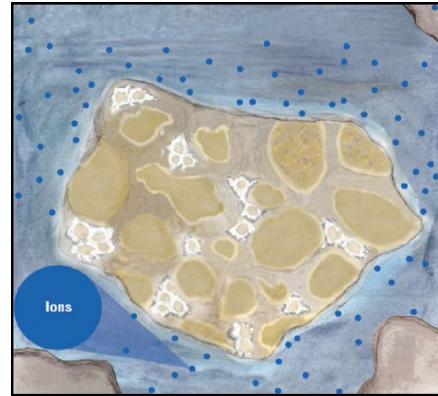
### Uyku Süreci

Alüminatların tepkimesi bu periyotta 2-4 saat arasında kontrol edilebilir. Bunun nedeninin jelimsi tabaka olduğu bilinmektedir. Bu periyodun sağladığı en önemli fayda betonun plastik halde taşınması, yerleştirilmesi ve işlenmesidir. Bu süreçte beton işlenebilirliğini korumaktadır. Portland çimentosuyla üretilen hazır betonun yeterli biçimde işlenebilme ömrünün 2 saat olduğu unutulmamalıdır. Bu süre kimyasal katkılarla değişebilmektedir.

Şekil 2'de görüldüğü gibi bu periyotta ısı çıkış hızı hemen hemen sabit kalmaktadır. Ancak, bu hiçbir tepkimenin olmadığı anlamına gelmez. Aksine çimento bileşenleri çözülmeye devam etmektedir ve karışım suyu kalsiyum(Ca) ve hidroksil (OH<sup>-</sup>) iyonları ile doymaya devam etmektedir[1,3]



Şekil 5: Jelimsi tabaka oluşumu ile reaksiyonlar ve ısı oluşumu kontrollü bir şekilde devam eder[1].



Şekil 6: Uyku süresince karışım suyu çözünen iyonlarla doymaktadır [1].

Tablo 2: Çimento ana bileşenlerinin özellikleri[4]

	Çimento Anabileşenlerinin Özellikleri			
	C <sub>3</sub> S	C <sub>2</sub> S	C <sub>3</sub> A	C <sub>4</sub> AF
Reaksiyon Hızı	orta	yavaş	hızlı	orta
Hidratasyon Isısı	orta 120 kal/g	az 62 kal/g	çok 207 kal/g	orta 100 kal/g
Bağlayıcılık Değeri				
. ilk zamanlarda	yüksek	düşük	düşük	düşük
. sonunda	yüksek	yüksek	düşük	düşük

(1) Bileşen özellikleri göreceli olarak verilmiştir; C<sub>3</sub>A ve C<sub>4</sub>AF'nin özellikleri yukarıdaki tabloya yansıtılırken, bu anabileşenlerin hidratasyonunda alçıtaşının etkisi de gözönünde tutulmuştur.

(2) İlk zamanlarda (ilk bir kaç saat veya bir gün alındığında), C<sub>3</sub>A'nın katkısı "yüksek"tir. Daha sonraki zamanlar gözönüne alınacak olursa, bu katkı "düşük"tür.



## Çimentonun Hidratasyonu

### Sertleşme Süreci

Karışım suyu, çözünen kalsiyum iyonları ile aşırı doymun hale ulaşınca, yeni hidratasyon ürünleri oluşmaya başlar ve bunun sonucunda ısı çıkışında yükselme meydana gelir. Bu duruma sertleşmenin (priz) başlangıcı denir.

Prizin başlaması ile betonda vibratör uygulaması veya yüzey bitirme işlemi gibi uygulamalar artık yapılamaz. Betona yapılacak müdahaleler kalıcı ayrılmaya neden olur. Bu periyotta beton yüzeyinde sulama, kür katkısı uygulaması ve yüzeyin membranla örtülmesi gibi kür (bakım) işlemleri yapılmaya başlanır.

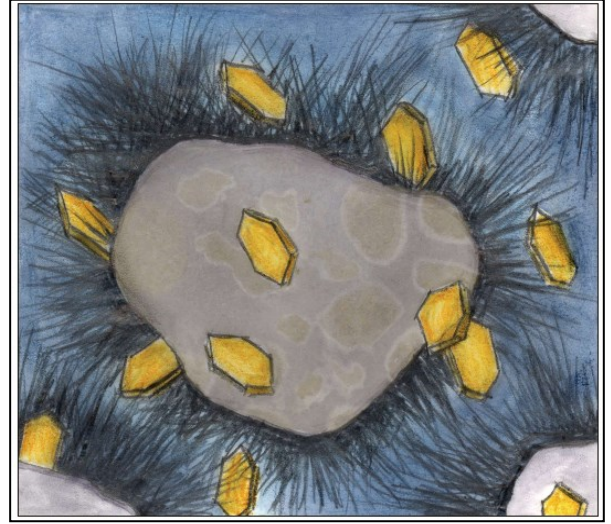
Sertleşme periyodunda oluşan yeni ürünlerin miktarı devamlı artar. Buna paralel olarak ısı oluşumu da artar. Bu ürünler birbirleri ile bağlanıp agregaların etrafında toplanır ve agregaları sararlar. Sonuçta beton sertleşir ve katılaşmaya başlar. Priz sonu en azından betonun üzerinde yürünebileceği bir zamandır[1].

### Soğuma Süreci

Bu süreçte "topochemical" diye adlandırılan reaksiyon gerçekleşir. Çimento hamuru bileşenler açısından doymun hale gelmiştir. Çimento taneciklerinin ( $C_3S$ ) yüzeyinde hidratasyon başlar ve yüzeyde hidratasyon ürünleri (C-S-H ve CH) oluşur. Betonun dayanım kazanma süreci artık başlamıştır[1,3].

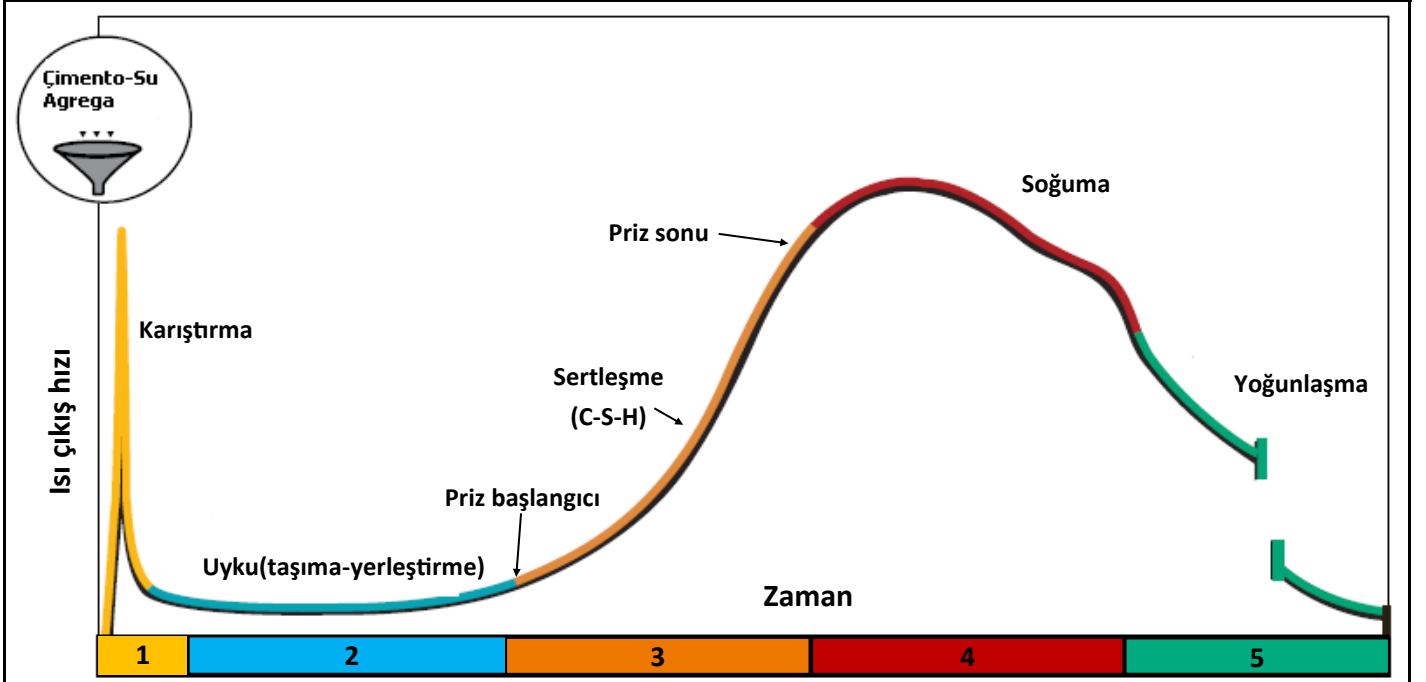
### Yoğunlaşma Süreci

Bu periyotta reaksiyon yavaşlamaya başlar ve ısı çıkışı önemli düzeyde azalır. Hidratasyon ürünleri artmaya ve gelişmeye devam etmektedir. Şekil 7-8-9'da görüldüğü gibi beton gittikçe daha sert ve sağlam bir yapıya kavuşur. Bu periyot hidrate olmamış çimento tanecikleri ile suyun bulunması durumunda çok uzun bir süre devam eder. Kısaca, betonun yıllar sürebilecek bir zaman diliminde dayanımı ve dayanıklılığı artar[1].



Şekil 7-8-9: Hidratasyon süreçleri boyunca çimento hamurundaki değişim[1]

## Çimentonun Hidratasyonu



Karıştırma	Uyku süreci	Sertleşme	Soğuma	Yoğunlaşma
10-15 dakika içinde gerçekleşir.	2-4 saat içerisinde sona erer.	2-4 saat içerisinde sona erer.	-	Yıllarca devam eder.
Yüksek ısı çıkışı aniden gerçekleşir ve aniden düşüş gösterir.	Karışım plastik ve işlenebilirdir. Isı çıkışı çok düşük seviyededir.	Yüksek ısı çıkışı olur. Priz ve beton da sertleşme başlar. Beton dayanım kazanmaya başlar.	Büzülme ve sürtünme sonucu oluşan iç gerilme, dayanım kazanımını geçmemelidir. Bu çatlamalara neden olur.	Beton dayanım ve dayanıklılık kazanmaya devam eder.
Karışım tasarımı önemlidir.	Beton kolayca taşınabilir, yerleştirilebilir ve bitirme işlemi yapılabilir.	Çok geçmeden küre ve koruma başlanmalıdır.	Gerilmeleri azaltmak için derz kesimine başlanır.	Erkan yaşta beton ani sıcaklık değişimlerinden üzerine yalıtkan örtüler serilerek korunmalıdır.

Şekil 10: Hidratasyon reaksiyonu süreçleri[1]

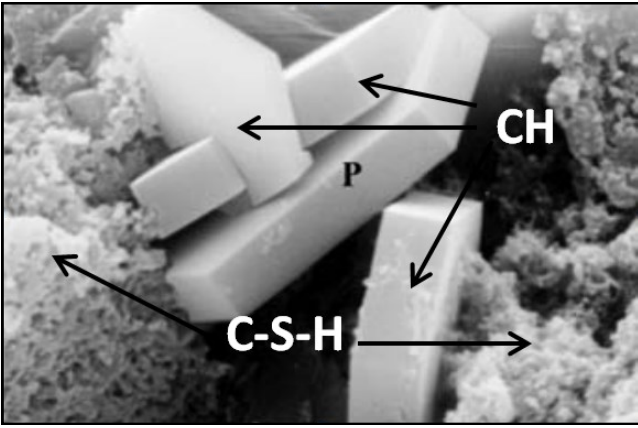
## Çimentonun Hidratasyonu

### Hidratasyon Periyotları:Detaylı Bakış

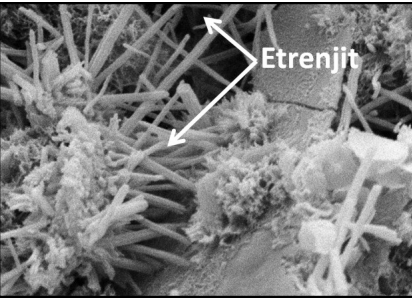
#### Hidrate Olan Ürünler

- Kalsiyum silikat hidrat (C-S-H)
- Kalsiyum hidroksit (CH)
- Etrenjit (C-A-S-H) (AFm)
- Monosülfat(C-A-S-H) (AFt)

Bu ürünler betonun dayanım ve dayanıklılık özelliklerini etkileyen ana unsurlardır.

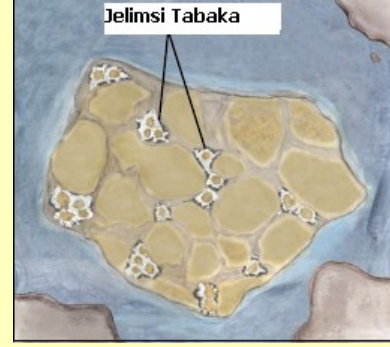


**Şekil 11:** Taramalı elektron mikroskopunda 10000 kat büyütülmüş çimento hamuru içindeki CH kristalleri ve C-S-H jelleri



**Şekil 12:** Taramalı elektron mikroskopundan bakıldığında çimento hamurunda oluşan etrenjitlerin görünümü

### Karıştırma Süreci



**Şekil 13:** Çimento tanecikleri etrafında jel oluşumu

Çimento ve su karıştıktan hemen sonra alüminatlar çözünmeye ve tepkimeye başlarlar:

- Alüminatın\* su ile tepkimesi sonucu jelimsi bir tabaka oluşur(C-A-S-H). Bunun sonucu ısı çıkışı önemli ölçüde azalır.
- Jelimsi tabaka Şekil 13'de görüldüğü gibi aradaki kanalları doldurur ve suyun geçişini ve alüminatlarla tepkimesini kontrol eder. Bu, Şekil 2'de görüldüğü gibi ani ısı oluşumunun aynı şekilde aniden düşmesine neden olur.

\* Alüminat derken esasen "trikalsiyum alüminat ( $C_3A$ )" kastedilmektedir. Çünkü tetrakalsiyum alüminoferrit ( $C_4AF$ ) hidratasyonu betonda önemli bir etkiye sahip değildir[1].

### Uyku Süreci

- C-A-S-H jeli alüminat tepkimesini kontrol etmektedir. Çok az ısı ve fiziksel değişim meydana gelir. Beton plastik kıvamdadır.
- Silikatlar yavaş bir hızda çözünmeye başlarlar. Kalsiyum( $Ca^{+}$ ) ve hidroksil( $OH^{-}$ ) iyonları ile ortam doygun hale gelir[1].

**C-S-H jeli (kalsiyum silikat hidrat) çimentoya bağlayıcılık özelliğini kazandıran ve dayanım kazanmasını sağlayan üründür. Ürünün moleküler büyüklüğü yaklaşık çimento tanesinden 1000 kat daha küçüktür. C-S-H hidrate olan ürünlerin yaklaşık %60'ını oluşturur.**

**CH (kalsiyum hidroksit) dayanıma etkisi olmayan, ancak beton içindeki bazik yapıyı sağlayan üründür. Zayıf yapısı ve aderansı zayıflatıcı etkisi nedeniyle gerekenden fazlası istenmeyen bir üründür. Hidrate olan ürünlerin yaklaşık %20'sini oluşturur. Katkılı çimentolarla yapılan betonlarda CH oranı çok daha düşüktür. CH düzgün altıgen şeklinde tabakalı bir yapıdadır. C-S-H'e oranla oldukça büyük boyutta olan CH genelde boşluklarda ve çimento hamuru-agrega arayüzlerinde birikir.**



## Çimentonun Hidratasyonu

### Sertleşme(priz) Süreci

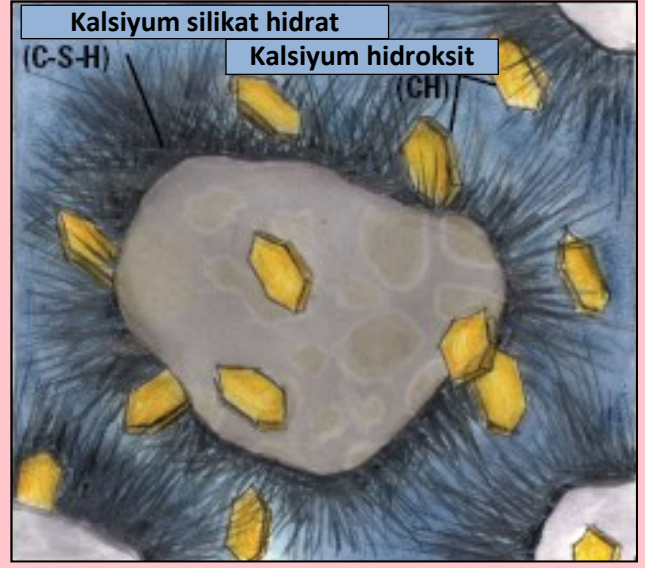


Şekil 14: C-S-H ve CH oluşumu[1]

Bu süreçte baskın bileşen  $C_3S$ (alit)'tir. Reaksiyon sonucu C-S-H ve CH kristalleri oluşur.

- $C_3S$ 'in çözünmesi sonucu oluşan kalsiyum iyonları ile çözelti süper doygun hale gelir ve fiber yapıda C-S-H ve kristal yapıda CH oluşur. Bunun sonucunda ısı açığa çıkar. C-S-H diğer bileşiklerle beraber bir ağ meydana getirir, bu da betonun katılaşmasını sağlar.
- Isı çıkışı ve çimento hamurunun sertleşmesi hidrasyonun hızlanmasının göstergesidir. Priz başlangıcı ve priz sonu bu periyotta meydana gelir. Çevresel etkilere göre bu aralık değişebilir. Ancak genelde 3-5 saat arasındadır.
- İnceliği fazla olan ve yüksek alkali ihtiva eden bağlayıcılarda reaksiyon daha hızlı oluşur.
- Yavaş reaksiyon gösteren sistemlerde reaksiyon süresi uzun olsa da, uzun dönemde daha yoğun bir yapı meydana gelir.
- Reaksiyonun hızlandığı bu periyotta alüminat ( $C_3A$ ) ve sülfat reaksiyonu devam eder ve iğnemi yapıda etrenjit kristalleri (C-A-S-H) oluşur.
- Priz sonu hidrasyon ısısının pik noktaya yaklaştığı bir süreçtir. Isı çıkışı  $C_3S$  reaksiyonunun yavaşlaması ile azalmaya başlar[1].

### Soğuma Süreci



Şekil 15: C-S-H ve CH oluşumu[1]

Bu süreçte  $C_3S$  reaksiyonu yavaşlamaya başlar ve zirveye ulaşan ısı çıkışı düşmeye başlar. Bunun nedeni oluşan C-S-H ve CH ürünlerinin su ve çözünmemiş çimento tanelerinin temasını engellemesidir.

#### Bu periyotta aşağıdaki durumlar oluşur:

- C-S-H ve CH oluşumu arttıkça betonun dayanım kazanması artar. Ancak yine de beton hala geçirimlidir. Hafif yükleri taşıyabilmektedir.
- Rötne nedeniyle oluşan gerilmeler dayanım kazanımından daha hızlı gelişebilir. Bunun sonucu çatlamlar meydana gelir. Eğer derz kesimi zamanında yapılmazsa gelişigüzel çatlaklar oluşur.
- Bazen hidrasyon ısısının pik noktaya ulaşmasının ardından, alüminatla reaksiyona giren sülfat tükenebilir. Kalan alüminat bu sefer etrenjitlerle tepkimeye girip monosülfat\* oluşur. Bu durum da bir miktar ısı artışına neden olur[1].

\* Monosülfat, beton özellikleri üzerinde önemli bir etkiye sahip değildir. Ancak dürabilite açısından önemlidir.



## Çimentonun Hidratasyonu

### Yoğunlaşma Süreci



**Şekil 16:** Çimento ürünlerinin zamanla yoğun bir yapı oluşturması[1]

Bu periyot, betonun dayanım kazanmasının devamı ve geçirimsizliğinin azalması yönünden kritiktir. Betonun geçirimsizliğinin azalması sonucu su ve suda çözülmüş tuz betona rahatça giremez. Donma-çözünmeden dolayı oluşacak olumsuz etkiler azalır.

- $C_3S$  ve su oldukça reaksiyon devam eder. Oluşan ürünlerin hacmi (miktarı) arttıkça beton dayanım kazanmaya devam eder ve geçirimsizlik azalır.
- $C_2S$ ,  $C_3S$ 'e oranla daha yavaş tepkimeye girer. Birkaç gün içerisinde  $C_3S$ 'in büyük bir miktarı tepkimeye girmiş olur. Bu dönemde  $C_2S$  tepkimesi daha da önem kazanır. Bu sürede betonda yeteri miktarda su olması önemlidir. Aksi takdirde hidrate olmayan ürünler oluşur[1].

### Mineral katkıların etkileri

Mineral katkıları (uçucu kül, yüksek fırın cürufu, doğal puzolan, silis dumanı gibi) çeşitli faydaları nedeni ile hazır betonda kullanılmaktadır. Mineral katkıların hidrasyon sürecine ciddi etkileri vardır.

#### 1. Karıştırma Süreci

Mineral katkı yüksek miktarda kalsiyum (özellikle  $C_3A$  formunda) ihtiva ediyorsa ve yeteri miktarda sülfat kaynağı yoksa betonda erken (ani) priz görülür. Bu da istenmeyen bir durumdur. Kızdırma kaybı(LOI) derecesi yüksek olan uçucu küller yanmamış karbon (C) ihtiva ederler ve bu element hava-sürükleyici katkıların emilmesine neden olur[1,2].

Sonuçta, hava-boşluk sistemi istenen düzeyde gerçekleşmez. Bu da önemli problemlere neden olur. Mineral katkıları genel olarak akışkanlık için daha az suya ihtiyaç duyarlar.

#### 2. Uyku(taşıma-yerleştirme) Süreci

Silikatlar yavaş bir şekilde çözünmeye ve kalsiyum ( $Ca^+$ ) ve hidroksil( $OH^-$ ) iyonları oluşmaya başlar.

#### 3. Sertleşme Süreci

Mineral katkılarda bulunan silikatlar çimento reaksiyonu sonucu oluşan CH ile reaksiyona girip C-S-H meydana getirirler. Bilindiği üzere C-S-H oluşumu ile beton dayanım kazanır. Ancak, bu reaksiyonlar çok yavaş olduğu için sonuçları hemen değil daha uzun bir süre sonucunda görülür. Bu nedenle, puzolonik madde ihtiva eden betonlarda dayanım kazanma durumu çok daha uzun süre devam etmektedir.

- Priz başlama süresi gecikebilir,
- İşlenebilirlik süresi uzayabilir,
- Hidrasyon sonucu oluşan ısı miktarı düşer,
- Hidrasyon reaksiyonu süresi uzar,
- Erken dayanım kazanma hızı düşer.

#### 4. Soğuma Süreci

Hidrasyonun yavaş devam etmesi nedeniyle ısı çıkışı-zaman oluşumu grafiğinde görülen zirve (pik) seviye daha düşük olur. Bunun sonucu büzülme daha az olur ve çekme gerilmesi daha düşük seviyede kalır. Ancak, puzolonik maddeler daha geç hidrate olduğu için ilki kadar olmasa da ısı açığa çıkışında ikinci bir pik nokta meydana gelir[1].

#### 5. Yoğunlaşma Süreci

Uzun vadede mineral katkılarda bulunan silikatlar çimento reaksiyonları sonucu oluşan CH ile reaksiyona girip C-S-H meydana getirmeye devam eder. Dayanım kazanma başlangıçta düşük olabilir ama zamanla artmaktadır.

Düşük miktarda kalsiyum içeren yüksek fırın cürufu ve uçucu kül betonun alkali reaktivitesini düşürür. Bunun nedenleri:

- Karşının alkali muhtevasını düşürmeleri (alkalin özelliği olan CH miktarı düşer),
- Beton geçirimsizliğini düşürmeleri,
- Karışımdaki  $CaO/SiO_2$  oranını puzolonik malzeme olarak düşürmeleridir[1].

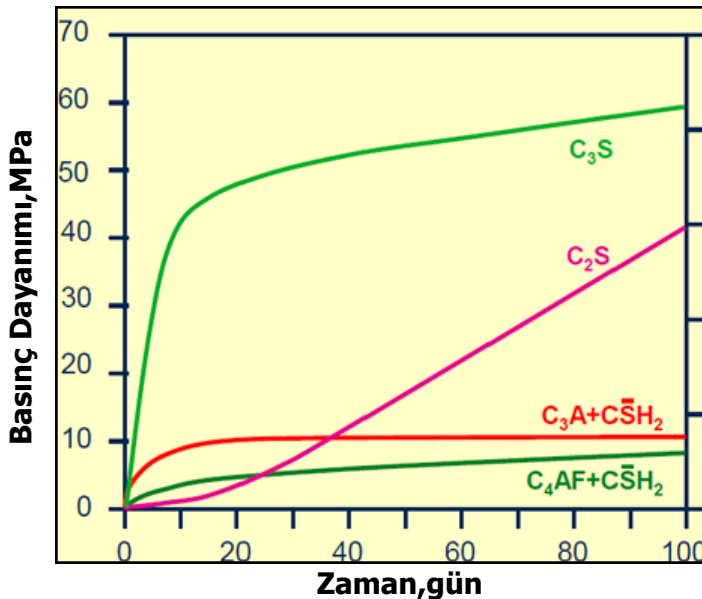
## Çimentonun Hidratasyonu

**Tablo 3:** Alçı çeşitleri ve özellikleri[1]

	Genel Ad	Kısaltma	Kimyasal Ad	Açıklama
Kalsiyumsülfatdihidrat	<b>Alçıtaşı</b>	<b>C<math>\bar{S}</math>.2H</b>	<b>CaSO<math>_4</math>.2H<math>_2</math>O</b>	<b>Hızlı çözünür</b>
Kalsiyumsülfathemihidrat	<b>Alçı</b>	<b>C<math>\bar{S}</math>.1/2H</b>	<b>CaSO<math>_4</math>.1/2H<math>_2</math>O</b>	<b>Yavaş çözünür</b>
Kalsiyumsülfatanhidrat	<b>Anhidrat</b>	<b>C<math>\bar{S}</math></b>	<b>CaSO<math>_4</math></b>	<b>Çözünme hızı değişken</b>

**Tablo 3:** Çimento bileşenleri ve özellikleri[1]

		Kimyasal Ad	Faz Adı	Etkiler	Miktar
<b>ALUMİNATLAR</b>	Selit	Trikalsiyumaluminat	C $_3$ A	Yüksek miktarda ısı açığa çıkar. Sülfat etkisine karşı zayıftır. Ani ve yalancı prize neden olabilir.	%5-10
	Ferrit	Tetrakalsiyum aluminoferrit	C $_4$ AF	Dayanıma etkisi yok denecek kadar azdır. Çimentonun gri rengine neden olur.	%5-15
<b>SİLİKATLAR</b>	Alit	Trikalsiyumsilikat	C $_3$ S	Hızlı hidrate olur ve sertleşir. Erken dayanım kazanımını sağlar.	%50-70
	Belit	Dikalsiyumsilikat	C $_2$ S	Yavaş hidrate olur . Geç dayanımı sağlar. Beton geçirimsizliğine olumlu katkısı vardır.	%15-30
<b>SÜLFATLAR</b>	Alçıtaşı	Kalsiyumsülfat	C $\bar{S}$	C $_3$ A hidratasyonunu kontrol eder. İçeriğe bağlı olarak ani ve yalancı prize neden olabilir.	%3-5



**Şekil 17:** Çimento bileşenleri ve özellikleri[2]

## Kaynaklar

1. KOSMATKA, STEVEN H., VOIGT, GERALD F., TAYLOR, PETER ., "Integrated Materials and Construction Practices for Concrete Pavement: A State-of-the-Practice Manual", Center for Transportation Research and Education Iowa State University, 2006, p.69-104
2. MEHTA, KUMAR P., MONTEIRO, PAULA J.M., "Concrete: Microstructure, Properties and Materials", McGraw-Hill, 2006
3. SOROKO, I., "Concrete in Hot Environments", E&FN Spon, 2004
4. ERDOĞAN, T. Y., " Sorular ve Yanıtlarıyla Beton Malzemeleri" , THBB Yayınları, 2004