

YAPI MALZEMELERİNİN SINIFLANDIRILMASI

Geleneksel yapı malzemeleri aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir:

- i) Taş yapılı malzemeler
 - Doğal taşlar (magmatik taşlar, tortul taşlar, metamorfik taşlar)
 - Kalsiyum kökenli bağlayıcılar (çimentolar, kireç, alçı)
 - Pişmiş toprak malzeme (tuğla, kiremit fayans, porselen)
 - Camlar
 - Beton (agrega, çimento, kimyasal katkıları, mineral malzemeler)
- ii) Metaller
 - Demirli metaller (pik demir, dökme demir, çelik)
 - Demirsiz metaller (alüminyum, bakır, kurşun, çinko, pirinç)
- iii) Ahşap
- iv) Plastikler (termoplastikler, termosetler, sentetikler, doğal reçineler)
- v) Bitümlü malzemeler (asfalt, katran)
- vi) Boyalar, vernikler ve tutkallar

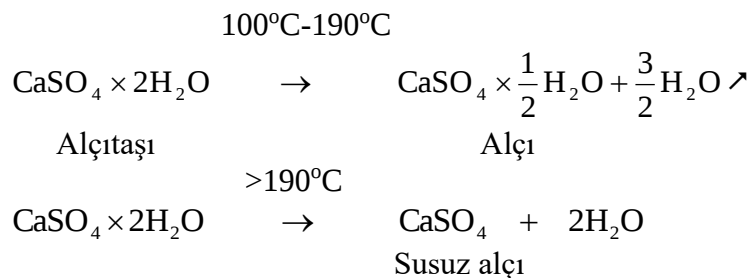
KALSİYUM KÖKENLİ BAĞLAYICILAR

Taneli veya parçalar halindeki malzemeleri bir bütün halinde bir arada tutmaya yarayan maddelere *bağlayıcı* adı verilir. Bileşiminde fazla miktarda kalsiyum bulunan maddeler “kalsiyum kökenli bağlayıcılar” olarak bilinir. İnşaat mühendisliği bakımından ayrı bir öneme haiz olan bu malzeme grubu alçı, kireç ve çimentodan oluşmaktadır.

Kalsiyum kökenli bağlayıcıların su ile reaksiyon yaptıktan sonra sertleşen ve sertleştikten sonra suyun etkisiyle yumuşamayan türlerine *hidrolik bağlayıcı* denir. Bu tanıma göre alçı ve hava kireci hidrolik bağlayıcı değildir. Bunların her ikisi de su ile karıştırıldığında bir kimyasal reaksiyon yapar ancak hava kirecinin sertleşmesi bu reaksiyon nedeniyle değildir. Alçının sertleşmesi ise bu reaksiyon nedeniyledir. Ancak sertleşen alçı tekrar su ile temas edecek olursa yumuşar. Kalsiyum kökenli bağlayıcılardan sadece su kireci ve çimento hidrolik bağlayıcıdır.

ALÇI

Alçı, doğada jips olarak bilinen $\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$ bileşiminde kayaların ısıtılması ve suyunun bir kısmının veya tamamının buharlaştırılması ve ardından öğütülmesi ile elde edilen bir yapı malzemesidir. Kızdırma 190°C üstünde yapılırsa alçıtaşı bünyesindeki suyun tamamı buharlaşır. Bu şekilde elde edilen alçı *susuz alçı* olarak bilinir.



Alçı beyaz renkte olup toz halinde piyasaya arz edilir. Piyasada mevcut alçının yaklaşık %75'i alçıtaşının kızdırılması sonucu suyunun $\frac{3}{4}$ 'ü buharlaştırılarak elde edilen alçıdır. Alçı, saf olarak üretilebildiği gibi özelliklerini iyileştirmek için küçük miktarda bazı katkı maddeleri de katılabilir. Saf alçılar daha çok sıva işlerinde ve kartonpiyer (tavan süslemesi) işlerinde kullanılır. Adi alçı olarak bilinen bu alçılar katılma süresi 10 dakikadan az olmayan alçılardır. Katkılı alçı ise ince alçı sıvası, kartonpiyer, kalıp yapma, tel sıva (rabiç) işlerinde kullanılır. Katılma süresi 20 dakikadan az olmayan bir alçıdır. Katkı maddeleri üretim aşamasında veya üretim sonrası ilave edilebilir.

Alçı üç aşamada üretilir:

- Alçıtaşını parçalanarak ufalamak,
- Ufalanmış alçı taşlarını kızdırmak (kalsinasyon), ve
- Ögütme suretiyle toz haline getirmek.

Alçı, dünyanın varoluşundan itibaren doğada bulunan düşük yoğunluklu bir taştır. Alçı ve su karışımı (alçı hamuru) mala ile işlenemeyecek kadar yapışkandır. Alçı hamuruna kum ilavesi, alçı hamurunun hem yapışkanlığını ortadan kaldırır hem de büzülmesini azaltır. Gözenekli yapısı nedeniyle mukavemeti oldukça düşüktür. Su/alçı oranına ek olarak, alçı hamuruna eklenen kum miktarı, nihai mukavemet açısından büyük önem taşımaktadır.

Alçı hamuru ve harcın kohezyonunu ve çekme dayanımını artırmak ve bazı özelliklerini iyileştirmek için priz hızlandırıcı, priz geciktirici, akışkanlaştırıcı katkıları ve doğal ya da sentetik lifler kullanılabilir.

Alçıların Özellikleri

- Alçı, tuğla ve taşa iyi yapışmasına rağmen ahşaba yapışmaz.
- Bileşiminde bulunan sülfat nedeniyle donatı ve metal aksamaların korozyonuna neden olabilir.
- Sertleşmiş alçı su ile temas ettiğinde yumuşar. Bu nedenle, yapıların dış kısımlarında kullanılmaz. İç kısımlarda kullanılması halinde de suyun etkisine karşı korunması gerekir.
- Taze alçı hamuru katılırken hacminde bir artış olur. Bu özelliği nedeniyle heykelticilikte kalıp çıkarma işleminde kullanılır.

Alçıların Kullanım Alanları

Alçı; sıva, tavan ve iç panel duvarların sıvanmasında kullanılır. Alçı, bölme duvarlar için yapı bloklarına dökülür ve model çıkarma, kalıp yapımı ve tıbbi uygulamalarda kullanım alanı bulur. Alçı, gözenekli yapısı nedeniyle seramik sektöründe de kullanılmaktadır. Gözenekli kalıp, plastik kilden suyu emer ve kalıbın çıkarılması üzerine daha az bozulma tehlikesi ile kili daha sert hale getirir.

Alçı sıvalar genellikle duvarcılıkta sıva işlerinde kullanılır. Alçı, yaklaşık olarak %70-75 kum, %15-25 alçı ve katılma ve işçilik kalitesini kontrol etmek için ilave edilen bazı katkı maddelerinden oluşur. Bazen ses yalıtımı sağlamak ve bina yükünü azaltmak için kum yerine perlit veya vermikülit gibi hafif agregalar kullanılabilir.

KİREÇ

Kireçleri aşağıdaki gibi iki sınıfa ayrılabilir:

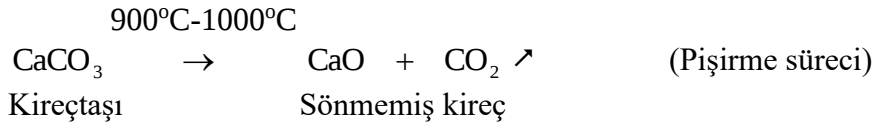
- i) Hava kireçleri
 - Beyaz kireç $\text{CaO} \nearrow \text{MgO} \searrow$
 - Dolomit kireci $\text{CaO} \searrow \text{MgO} \nearrow$
- ii) Su kireci

Hava kireçleri kalsiyum karbonatlı taşların (kireçtaşı, tebeşir) sinterleşme sıcaklığı altında bir sıcaklıkta pişirilmesi ve su ya da buharla söndürülerek ufalanması veya öğütülmesiyle elde edilen bir yapı malzemesidir. Kireçtaşı ağırlıkça %56 oranında CaO, %44 oranında CO₂ içerir.

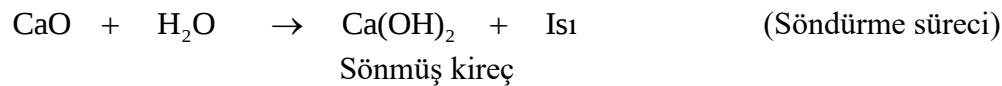
Kireç doğada nadir saf halde bulunur. Genellikle silis, alümina, demir oksit ve alkaliler gibi küçük miktarlarda safsızlıklar ile birlikte kayda değer miktarda magnezyum karbonat içerir. Bileşimindeki toplam yabancı madde miktarı %1 ila %6 civarındadır.

Kalsiyum karbonat ve magnezyum karbonat içeren kireçtaşı dolomit olarak bilinir. Dolomit 900-1000°C'ye kadar ısıtıldığında kalsiyum karbonat ve magnezyum karbonat içindeki CO₂ ayrılır. Bu şekilde elde edilen sönmemiş kireç, CaO bakımından zengin olup bileşiminde az miktarda MgO bulunur.

Kireç, kireçtaşının fırında ısıtılmasıyla kalsiyum karbonattan (kalker, CaCO₃) elde edilir. CaCO₃ 900°C ila 1000°C arasında ısıtıldığında, CO₂ (ve varsa su) bünyeden ayrılarak aşağıda görüleceği üzere geride sönmemiş kireç olarak bilinen susuz kalsiyum oksit kalır.



Sönmemiş kireç kullanılacağı zaman mutlaka su ile söndürülmelidir. Sönmemiş kireç suya doygun hale getirilerek aşağıdaki gibi Ca(OH)₂ halinde söndürülür.



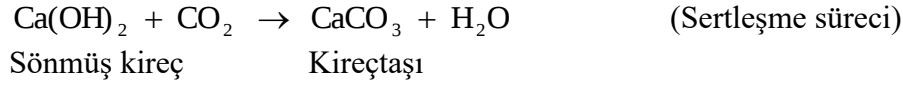
Sönmemiş kireç saf olmadığı için söndürme işleminde Ca(OH)₂'in ağırlıkça %24.3'ü kadar suya gereksinim duyulur. Söndürme esnasında oldukça fazla miktarda ısı açığa çıkar ve 2.5 ila 3 kat mertebesinde hacim genişmesi olur. Söndürme reaksiyonu hızı ve açığa çıkan ısı miktarı sönmemiş kirecin kimyasal bileşimine ve fiziksel özelliklerine bağlıdır.

Hacim artışı kirecin patlayarak ufalanmasına neden olur. Bu nedenledir ki, ilerde görüleceği gibi, çimentoların bileşiminde yüksek oranda serbest kirecin (CaO) bulunması istenmez.

Yapılarda kullanılan kireç sönmüş kireçtir. Bu nedenle optimum miktarda su kullanarak ve dikkatlice karıştırmak suretiyle söndürme işlemi fabrikalarda yapılır. Söndürülecek sönmemiş kireç başlangıçta ufalanır ve Ca(OH)₂'e dönüştürmek için optimum miktarda su ile iyice karıştırılır. Söndürme işlemi tamamlandıktan sonra kurutma yapılır.

Kireç, kireç harçlarının temel bileşenidir. Sönmüş kireç su ile karıştırılınca plastik (şekil verilebilir) hale gelir. Bu karışım zamanla katılaşır ve sertleşir. Hava kireçleri adından da anlaşılacağı gibi sadece havada sertleşir. Katılaşma ve sertleşme havadan CO₂ alınarak

gerçekleşir ve CO₂'nin difüzyon hızına bağlı olarak aylar, hatta yıllar sürebilir. Sertleşmiş kirecin (CaCO₃) yapısı oldukça boşlukludur. Böyle bir yapı dayanımı olumsuz etkilese de ona esneklik kazandırır. Islanıp kurudukça hacminde önemli değişiklikler meydana gelmez.



Su kireci hava kirecinden tamamen farklıdır. Su kireci, killi yani SiO₂, Al₂O₃ and Fe₂O₃ içeren kireç taşlarının pişirilmesi ve öğütülmesiyle üretilir. Su ile temas ettiğinde reaksiyona girerek sertleştiği için su kireci söndürülmez. Bu etkiyi gösteren malzemelere puzolanik katkı maddeleri denir. Yani, su kireci bir hidrolik bağlayıcıdır.

Sönmemiş kireç atmosfere maruz kaldığında atmosferdeki nemi emer ve sönmüş kireç haline gelir. Sönmüş kireç atmosferde mevcut CO₂ saldırısına maruz kalır. Meydana gelen ürün CaCO₃ olup olay *karbonasyon* olarak bilinir. Böylece yüzeydeki sönmemiş kireç bağlayıcılık özelliğini kaybeder ve malzemenin iç kısımlarını koruyan bir film oluşturur.

Hidrolik kireçler, hava kireçleri ile aynı amaçlar için kullanılabilir. Ancak, çok yavaş katılaştıkları için bu malzemelerin inşaatta kullanımı genellikle tercih edilmez. Hidrolik kireçler su altında belirli bir sertleşme ve katılaşma özelliğine sahip olmakla birlikte, su altı inşaatı için çok uygun değildir.

Kireç, kireç harçlarının ana bileşenlerinden biridir. Kireç harcının mukavemeti, esas olarak kirecin kimyasal bileşimi, harcın içinde kullanılan kumun miktarı ve özellikleri ile harcın üretiminde kullanılan su miktarı ve harcın sertleştiği ortam şartları gibi faktörlere bağlıdır.

Su kireci ile hava kireci arasındaki fark, su kireci içinde bulunan (CaO+MgO) miktarının daha az olması nedeniyledir. Hava kirecinde CaO > %80 iken, su kirecinde CaO+MgO > %45-65 dir.

Kireçlerin Kullanım Alanları

Yapılarda daha çok hava kireçleri kullanılır. Bunlar badana işlerinde, sıvacılıkta, duvarcılık işlerinde harç malzemesi olarak kullanım alanı bulurlar. Hava kireci havadan CO₂ alarak sertleştiğinden difüzyonu kolaylaştırmak, sertleşmeyi hızlandırmak amacıyla ince tabakalar halinde uygulanır ve bir tabaka sertleşmeden ikincisi uygulanmaz.

Kirecin bir diğer kullanım alanı ise kireç-kumtaşı ve gaz-beton üretimidir. Kireç-kumtaşı silişçe zengin kum ile kirecin belirli oranlarda karıştırılıp kalıba dökülmesi, kalıpta sıkıştırılması, basınçlı buhar altında pişirilmesiyle elde edilir. Bu malzeme beyaz renkli dolu tuğla görünümündedir. Yapılarda tuğla gibi kullanılır.

Gaz-beton ülkemizde Ytong olarak bilinmektedir. Su, kum, kireç ve bir miktar alüminyum tozundan oluşan karışımın basınçlı buhar altında pişirilmesiyle elde edilir. Alüminyum tozu harç içinde küçük hava kabarcıkları halinde gözeneklerin oluşmasını sağlar. Gözenekli yapısı dolayısıyla Ytong oldukça düşük ısı iletkenlik katsayısına sahiptir.

PORTLAND ÇİMENTOSU

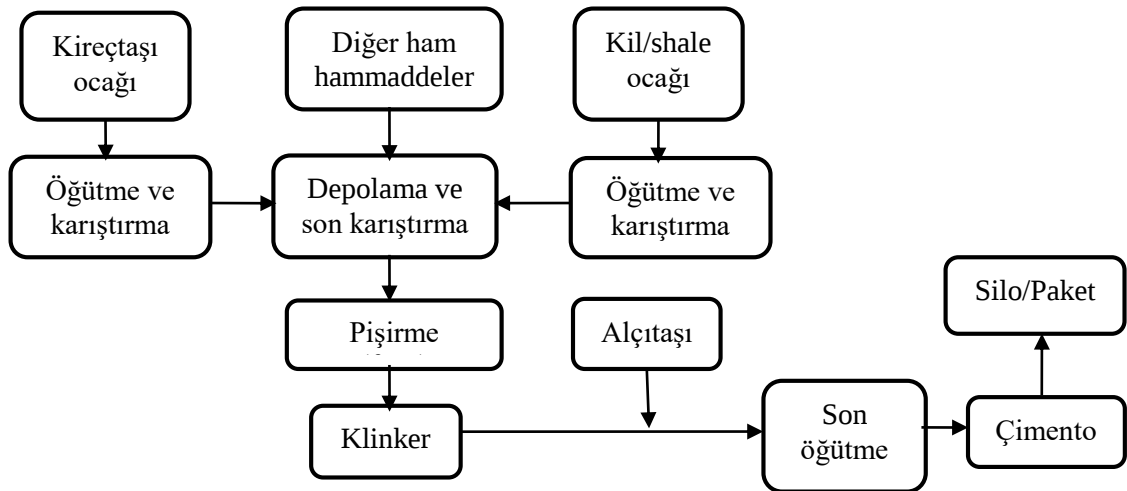
Portland çimentosu, en yaygın kullanılan yapı malzemelerinden biridir ve kireçtaşı ve kil karışımının pişirilmesi ve bir miktar alçı ile ince öğütülmesi ile elde edilir. Portland çimentosu bir hidrolik bağlayıcıdır. Yani, su ile reaksiyonu sonucu sertleşen ve sertleştikten sonra su ile temas etmesi durumunda yumuşamaz. Duvar, zemin, köprü, tünel vb. gibi her türlü yapısal betonda kullanılabilir. Portland çimentosu, iri agrega, ince agrega (kum) ve iyi bir kıvam sağlamak için yeterli su ile karıştırıldığında beton elde edilir. Günümüzde çeşitli çimento türleri üretilmektedir; bunlar arasında Portland çimentosu en yaygın kullanılanıdır ve dünya çimento üretiminin yaklaşık %75'ini oluşturmaktadır.

Portland çimentosu bir duvar ustası Joseph Aspdin tarafından 1824 yılında İngiltere'de keşfedilmiştir. Joseph Aspdin bu ürünü ince öğütülmüş kireçtaşı ile kilin bir fırında pişirmek suretiyle elde etmişti. Portland çimentosunun üretim teknolojisinde o günden beri büyük değişimler olmasına karşın bileşimi hemen hemen aynı kalmıştır. Son yıllarda doğal ve yapay birçok puzolanik madde değişik oranlarda klinkere katılarak Portland çimentosuna göre farklı özellikler taşıyan çimentolar üretilmektedir.

PORTLAND ÇİMENTOSUNUN ÜRETİMİ

Portland çimentosu, kalkerli ve killi maddelerin uygun oranlarda karıştırılması ve yaklaşık 1400 ila 1500°C sıcaklıkta pişirilmesi sonucu elde edilen klinkerin az miktarda (%3-6) alçıtaşı ile öğütülmesiyle elde edilir. Klinkere alçıtaşı ilave etmenin nedeni çimentonun su ile reaksiyonunu yavaşlatmak ve priz sürecini kontrol altına almak ve bu şekilde ani prizi önlemektir. Yüksek sıcaklıkta, kalker kalsiyum okside; kil silisyum dioksit, alüminyum oksit ve demir okside ayrışır.

Bazı hallerde klinkerdeki silisyum dioksit ve demir oksit içeriği yetersiz olabilir. Bu durumda karışıma kuvars kumu veya pirit katılır. Bunun yanı sıra klinkerin ergime sıcaklığını düşürmek için az miktarda kimyasallar katılabilir. Nihai ürün toz olup renki gridir. Gri renk demir oksitten dolayıdır. Demir oksit içermeyen çimentolar beyaz renkte olurlar. Portland çimentosunun üretim süreci aşağıdaki gibi özetlenebilir.



Portland çimentosu üretim sürecinin şematik gösterimi

PORTLAND ÇİMENTOSUNUN BİLEŞİMİ

Çimentonun ilkel bileşenleri kalker ve kildir. Yüksek sıcaklıkta, döner fırın içinde bu iki madde birbirleriyle kimyasal olarak reaksiyona girerek kimyasal bileşimleri farklı katı eriyikler meydana gelir. Çimento üretiminde en önemli aşama, ham maddelerin fırın içinde ayrışması, yarı ergimiş hale geldikten sonra tekrar fakat farklı kimyasal özelliğe sahip aktif ürünlerin oluşmasıdır. Kaliteli bir çimento elde etmek için üretim aşamasında azami itina mutlaka gösterilmelidir.

Kireçtaşı ve kil döner fırın içinde 1400-1500°C`de ayrışır. Ayrışma sonucunda, kireçtaşı kirece (CaO) dönüşürken, kil silis (SiO₂), alümina (Al₂O₃) ve az miktarda magneziye (MgO) dönüşür. Çimentoda ayrıca kil ve ilave edilen topraktan gelen demir oksit (Fe₂O₃) yanı sıra bazen alkaliler (Na₂O ve K₂O) ve göreceli olarak oldukça fazla miktarda sülfür anhidrit (SO₃) bulunur. Asit ve bazik öğeler döner fırın içinde birbirleriyle birleşerek çimentonun esasını oluşturan ve çimentoya bağlayıcılık özelliği kazandıran silikatlar ve alüminatlar oluşur. Çimentonun potansiyel etkinliği bu karma oksitlerin çimento bileşiminde bulunma miktarları oranına bağlı olarak değişir.

Bazı hallerde klinker için gereksinim duyulan silisyum dioksit ve demir oksit miktarı yeterli olmayabilir ve bu durumda karışıma örneğin, kuvars kumu ve/veya pirit katılır. Ancak klinkerin bileşimi dikkate alınarak hammaddeyi oluşturan karışımın kimyasal bileşiminin hassas bir şekilde kontrol edilmesi zorunludur. Tipik Portland çimentosunun bileşimi aşağıda çizelge halinde verilmektedir.

Portland çimentosunun tipik oksit bileşimi

Bileşen	Kimyasal bileşim	Ortalama, %
Kalsiyum oksit	CaO	60-67
Silisyum dioksit	SiO ₂	17-25
Aluminyum oksit	Al ₂ O ₃	3-8
Demir oksit	Fe ₂ O ₃	1-6
Sülfür	SO ₃	1-3
Magnezi	MgO	1-4
Alkaliler	Na ₂ O+K ₂ O	0.2-1.3
Serbest kireç	CaO	0-2
Çözünmeyen kalıntı		~2.5
Kızdırma kaybı		~2.5

Tablodan görüldüğü üzere, çimentonun büyük bir kısmını CaO, SiO₂, Al₂O₃ ve Fe₂O₃ oluşturmaktadır. Bunlar ana bileşenler olup çimentonun performansından sorumludur. Çimento bileşiminde yer alan magnezi, sülfür, alkaliler, serbest kireç ve çözünmeyen kalıntı gibi tali bileşenler çimentonun ağırlıkça yüzde birkaçı kadardır.

Sülfür (SO₃): Çimento bileşimine alçıtaşıdan veya pişirme işleminde kullanılan yakıttan girebilir. Klinkere gereğinden fazla alçı taşı ilave edilirse, SO₃`ün neden olduğu genleşme betonda hasar mertebesine ulaşabilir ve bu nedenle standartlar Portland çimentosuna maksimum %3 SO₃ katılmasına izin vermektedir.

Alkaliler (Na₂O, K₂O): Na₂O ve K₂O, ağırlıkça çimentonun yalnızca yüzde birkaçını oluşturur. Bunlar agregadaki reaktif silika ile reaksiyona girdikleri ve betonda hacim artışı yaratan *alkali-silika jeli* oluşumuna neden oldukları bulunmuştur. Bu reaksiyonun gelişimi

aylar veya yıllar alabilir ve sertleşmiş betonda genleşme parçalanmaya ve çatlamaya neden olur. Bu nedenle Portland çimentosundaki toplam alkali miktarı, betonda reaktif agregalarla kullanılacaksa, çimento ağırlığının yaklaşık %0.6'sından fazla olmamalıdır.

Magnezi ve Serbest Kireç (CaO): Çimento bileşimindeki kirecin tamamı pişirme esnasında ana bileşenlere dönüşmeyebilir. Açıkta kalan kirece *serbest kireç* denir. Serbest kireç su ile reaksiyona girerek hacim artışına neden olur. Magnezi de serbest kireç gibi su ile reaksiyona girerek hacim artışı yaratır. Serbest kireç ve magnezinin su ile reaksiyonu sonucu sırasıyla $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (Portlandit) ve $\text{Mg}(\text{OH})_2$ (Brusit) meydana gelir. Bunların su ile reaksiyonu oldukça yavaştır ve reaksiyon genellikle çimento prizini aldıktan ve sertleştikten sonra tamamlanır ve çoğu zaman betonun çatlamasına neden olurlar. Bu nedenle ilgili standartlar maksimum serbest CaO ve MgO değerlerini sınırlamaktadır.

Çözünmeyen Kalıntı: Çimento bileşimine giren silisli maddeler hidroklorik asitte çözünmeyen birtakım mineraller içerir. Bunların büyük çoğunluğu pişirme sırasında ergiyerek başka maddelerle birleşir ve asitte çözünür hale gelir. Pişirmenin çok iyi yapılmadığı hallerde bileşimdeki çözünmeyen mineral miktarı artar. Bu maddeler topluca *çözünmeyen kalıntı* olarak bilinir. Çözünmeyen kalıntı miktarı %5'i geçmemelidir.

Kızdırma Kaybı: Çimentonun yaklaşık 1000°C'de kızdırılması sonucu kaybolan organik bileşikler, su ve CO_2 gibi maddelerdir. Kızdırma kaybının fazla olması çimentonun bayatlamış olduğunu gösterir. Dolayısıyla, böyle bir çimentonun dayanımında düşme beklenir. İlgili standart Portland çimentosunda maksimum %5 kızdırma kaybına izin verir.

PORTLAND ÇİMENTOSUNUN POTANSİYEL BİLEŞİMİ

Pişirme sırasında döner fırın içerisinde kireç, silika, alümin ve demir oksit ergirler ve birbirleriyle reaksiyona girerek 20 dolayında farklı özellikte katı eriyik meydana gelir. Bunlardan dört tanesi çimentonun ana bileşenleri olarak bilinir. Çimentonun yaklaşık %90'ı bu dört karma oksitten oluşur.

Bu karma oksitlerin aynı zamanda çimentonun davranışı üzerinde de önemli işlevi vardır. Bu dört temel bileşenin isimleri, bileşimleri ve kısa isimleri aşağıda çizelge halinde verilmektedir.

Bileşen ismi	Kimyasal bileşim	Kısa isim	Ağırlık, %
Trikalsiyum silikat	$3\text{CaO} \times \text{SiO}_2$	C_3S	45-55
Dikalsiyum silikat	$2\text{CaO} \times \text{SiO}_2$	C_2S	15-30
Trikalsiyum aluminat	$3\text{CaO} \times \text{Al}_2\text{O}_3$	C_3A	8-12
Tetrakalsiyum alumino ferrit	$4\text{CaO} \times \text{Al}_2\text{O}_3 \times \text{Fe}_2\text{O}_3$	C_4AF	6-10

Bu katı eriyikler dışında çimento bileşiminde bir miktar alçıtaşı ($\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$), serbest kireç (CaO), çözünmeyen kalıntı ve kızdırma kaybı bulunur. Ana bileşen miktarları doğrudan analizle saptanamaz ancak oksit miktarları kullanılarak Bogue (1955) formülleri vasıtasıyla aşağıdaki gibi hesaplanabilir. Bunun için çimento veya klinkerin kimyasal analizleri ile belirlenen oksit bileşiminin bilinmesi gerekir. Parantez içindeki terimler, çimento kütleindeki oksitlerin yüzdesini göstermektedir.

$$C_3S = 4.07 \times (CaO) - 7.60 \times (SiO_2) - 6.72 \times (Al_2O_3) - 1.43 \times (Fe_2O_3) - 2.85 \times (SO_3)$$

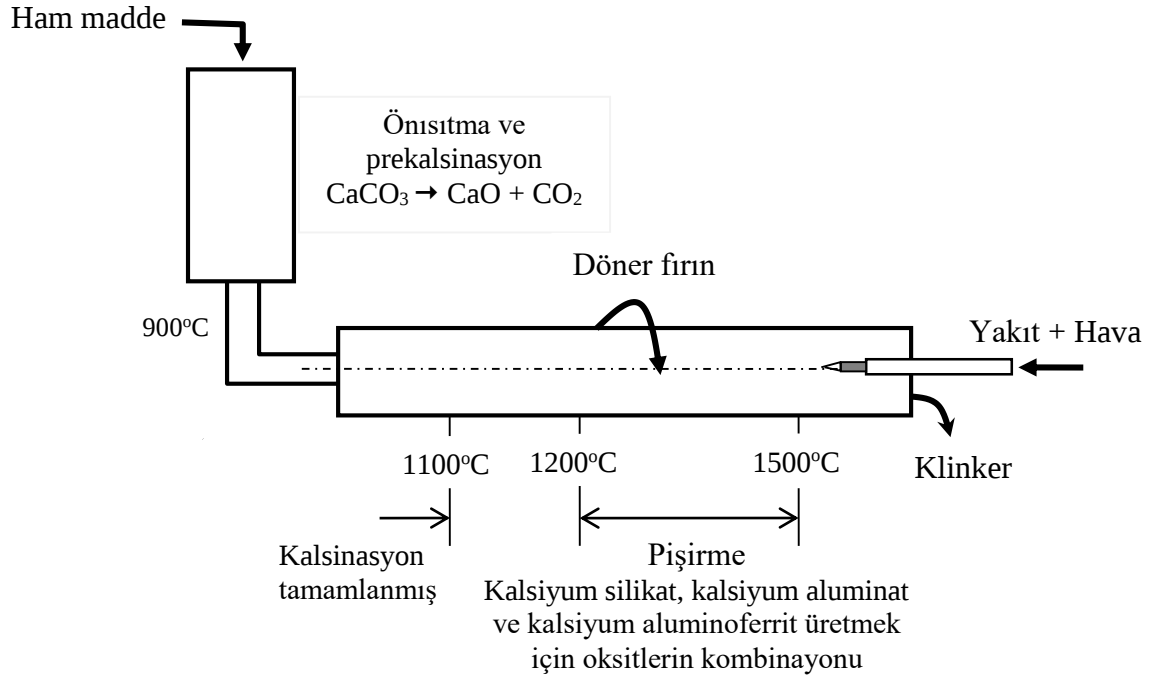
$$C_2S = 2.87 \times (SiO_2) - 0.754 \times (C_3S)$$

$$C_3A = 2.65 \times (Al_2O_3) - 1.69 \times (Fe_2O_3)$$

$$C_4AF = 3.04 \times (Fe_2O_3)$$

Klinker için ana bileşenler hesaplanırken C_3S miktarının hesabında kullanılan ifadede son terim, $2.85 (SO_3)$, ihmal edilir.

Klinker fırından geçerken ısındıkça bu bileşikler biraz farklı sıcaklıklarda oluşmaya başlar. C_2S (belit olarak bilinir) yaklaşık $700^\circ C$ 'de oluşmaya başlar ve yaklaşık $1300^\circ C$ 'de C_3S (alit olarak bilinir) oluşmaya başlar. Sıcaklık yaklaşık $1450^\circ C$ 'ye yükseldikçe, daha düşük sıcaklıklarda oluşan belitin çoğu alite dönüşür. C_3A ve C_4AF 'nin her ikisi de yaklaşık $900^\circ C$ 'de oluşmaya başlar. Portland çimentosunun üretim süreci aşağıdaki gibi verilebilir:



Silikatlar (C_2S ve C_3S), çimentonun dayanım gelişiminden sorumlu temel bileşenlerdir. C_3S 'in etkinliği erken yaşlarda, C_2S 'in etkinliği ileriki yaşlarda ortaya çıkmaktadır. Alüminatların (C_3A ve C_4AF) çimentonun dayanım gelişimine katkısı silikatlara kıyasla önemsizdir. Bu itibarla, dayanım gelişimine katkısı çok az olması nedeniyle, C_3A 'nın çimentonun bileşiminde fazla miktarda bulunması istenmez.

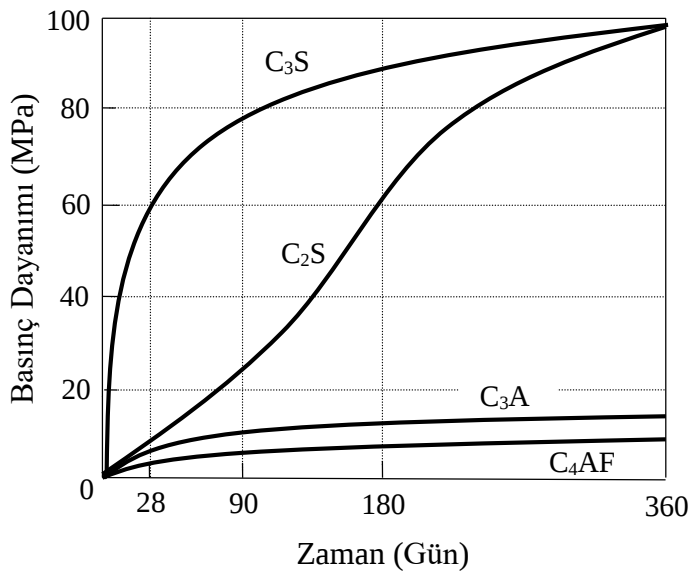
Alçıtaşı ilave edilmemesi halinde, C_3A 'nın su ile çabuk reaksiyonu sonucu çimento ani priz (flash set) yapar. Düşük C_3A içerikli çimentoların sülfatlı ortamlarda dirençleri yüksektir. C_4AF çimentoya gri rengini veren ve C_3A 'ya benzer davranış gösteren bileşendir. Her ikisinin de çimentonun dayanım ve bağlayıcılık özelliğine doğrudan katkısı yoktur. Silikatların kimyasal tepkimeye girmesini hızlandıracak şekilde kalatizör gibi işlev görürler.

Klinkere ilave edilen alçıtaşı miktarı çok önemlidir ve bu çimentonun C_3A ve alkali içeriğine bağlıdır. Fazla miktarda alçıtaşı genleşmeye ve neticesinde betonun hasarına neden olabilir. Bu itibarla, klinkere ilave edilen alçıtaşı optimum miktarda olmalıdır. Bu miktar genellikle klinkerin %3 ila %6'sı mertebesindedir.

Dört ana bileşene ait bazı özellikler çizelge halinde aşağıda verilmektedir.

Bileşen	Hidratasyon Isısı	Reaksiyon Hızı	Bağlayıcılık Özelliği		Sülfata Dayanıklılık
			İlk hafta	İlk yıl	
C ₃ S	Orta	Orta	Yüksek	Yüksek	İyi
C ₂ S	Az	Yavaş	Düşük	Yüksek	Çok iyi
C ₃ A	Çok	Hızlı	Düşük	Düşük	Zayıf
C ₄ AF	Az	Yavaş	Düşük	Düşük	Orta

Herhangi bir çimentonun bileşimi hammaddelerin bileşimine, kalitesine ve oranlarına bağlıdır ve bu nedenle bir çimento fabrikasından diğerine ve hatta tek bir fabrikada zamanla değişkenlik gösterebilir.



Karma bileşenlerin çimentonun dayanım gelişimine etkisinin grafiksel gösterimi

Grafikten görüleceği üzere, C₃S çimento hamurunun dolayısıyla betonun erken yaşlarda mukavemet kazanmasından sorumlu olan bileşen iken C₂S ise daha geç yaşlarda etkisini göstermektedir. Yaklaşık bir yılsonunda her iki bileşenin çimentonun dayanım gelişimine katkıları eşitlenmektedir. C₃S bakımından zengin çimentoların kısa sürede mukavemet kazandığı, buna karşılık C₂S bakımından zengin çimentoların kimyasal etkilere daha dirençli olduğu ve daha az hacim değişimi yaptığı söylenebilir.

Kütle betonlarında C₃S ve C₃A içeriği düşük, kışın beton dökümünde C₃S ve C₃A içeriği yüksek çimentoların kullanımı daha uygundur.

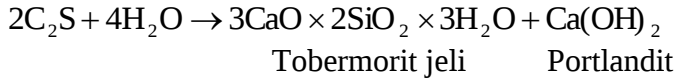
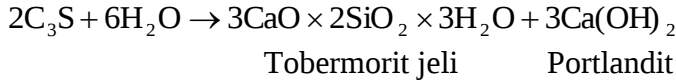
Hammadde miktarlarını ayarlamak suretiyle potansiyel bileşimi farklı tipte Portland çimentoları üretilebilir. Portland çimentosu için tipik potansiyel bileşimi şu şekilde verilebilir. Tipik değerler; C₃S için %45-55, C₂S için %15-30, C₃A için %8-12 ve C₄AF için %6-10 arasında değişebilir.

PORTLAND ÇİMENTOSUNUN HİDRATASYONU

Çimento su ile karıştırıldığında çimentonun katılaşarak sertleşmesine neden olan bir seri kimyasal reaksiyon meydana gelir. Çimento ile su arasında meydana gelen bu reaksiyonlara *hidratasyon* denir. Hidratasyon neticesinde hamur plastikliğini kaybederek katılaşır. Bu olaya *priz* adı verilir. Hidratasyon ilerledikçe çimento hamuru sertleşerek mukavemet kazanır.

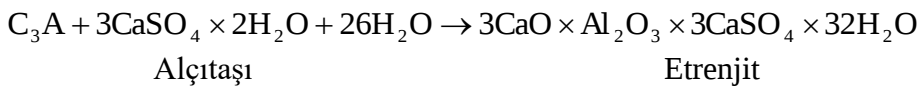
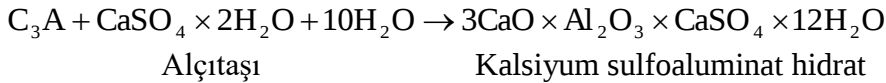
Hidratasyon çok karmaşık bir süreçtir. Bu sürecin gelişimi sırasında *hidratasyon ürünleri* olarak bilinen birbirinden yapısal olarak farklı yeni ürünler meydana gelir. Hidratasyon, çimento ve su bir araya gelir gelmez başlar. Su, çimentoyu oluşturan her bir bileşenle reaksiyona girer ve bu şekilde farklı özellikte hidratasyon ürünleri oluşur.

Çimento bileşenlerinin su ile reaksiyonu farklı hızlarda gerçekleşir ve açığa çıkan hidratasyon ısı da farklı olur. Açığa çıkan ısı miktarı esas olarak çimentonun kimyasal bileşimine, çimentonun inceliğine ve kür sıcaklığına bağlıdır. Dört ana bileşene ilişkin reaksiyonlar ve hidratasyon ürünleri aşağıda verilmektedir.

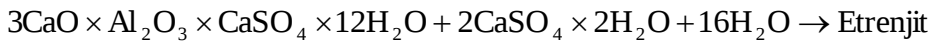


C₂S ve C₃S çimentonun ana bileşenleri olup C₃S çok daha hızlı hidratlaşır. Bunların hidratasyonu sonucu *tobermorit* ve *portlandit* oluşur. Tobermorit jeli, bağlayıcılık özelliği olan yegâne ürün olup kısaltılmış ismi C-S-H dir. Portlandit olarak bilinen Ca(OH)₂'in bağlayıcılık özelliği yoktur. Her iki silikat hidratasyon için aynı miktarda suya gereksinim duyar ancak C₃S, C₂S'in ürettiğinin üç katı kadar Ca(OH)₂ üretir.

C₃A su ile çok hızlı reaksiyon yapar ve çimento hamurundaki suyun kısa sürede tükenmesine ve dolayısıyla hamurun hızlıca katılaşmasına neden olur. Bu nedenle, C₃A silikatlardan oldukça hızlı hidratlaşır. Bu süreç *ani priz* (flash set) olarak bilinir. Ani priz kontrol edilmezse, çimento hamuru tümüyle katılaşır ve silikatların meydana gelmesi engellenmiş olur. Klinkere bir miktar alçıtaşı ilave etmenin gerekçesi budur. Ancak hidratasyon sonucu çimento hamurunun genleşmesine neden olduğu için alçıtaşının fazla miktarda ilavesi istenmez. C₃A ve alçıtaşı ve su ortamında birlikte reaksiyona girdiklerinde aşağıdaki ürünlerden biri veya her ikisi meydana gelir.



İlk reaksiyon sonunda meydana gelen kalsiyum sulfoalüminat hidrat kararlı bir yapıya sahip değildir ve bünyesinde 12 mol su barındırdığı için genleşme yaratır. Ortamda fazla alçıtaşı olduğunda, *etrenjit* olarak bilinen kalsiyum trisulfoalüminat hidrat oluşur.



Etrenjitin yapısı kararlı olup bünyesinde 32 mol su vardır. Ortamda yeterince alçıtaşı olduğunda, etrenjit miktarı artar; çimento hamuru genleşir ve beton çatlar. Sülfatlı ortamlara maruz betonlarda kullanıldığında çimentonun C_3A içeriğinin %5`den fazla olması istenmez.

C_4AF alçıtaşı ve su ile reaksiyona girdiğinde C_3A `nın hidratasyonu sonucu oluşan hidratasyon ürünlerine benzer ürünler meydana gelir. Bu ürünler az miktarda bir ısının açığa çıkmasına ve neticesinde genleşmeye neden olabilir ancak açığa çıkan ısı ani prize neden olacak miktarda değildir.

HİDRATASYON ISISI VE DAYANIM GELİŞİMİ

Termodinamik olarak çimentodaki karma oksitler fırında aldıkları yüksek ısı nedeniyle yüksek entropiye sahiptir. Su ile reaksiyona girdiklerinde absorbe edilen bu enerji açığa çıkar ve hidratlaşmaları ekzotermik olarak gerçekleşir. Reaksiyonların ekzotermik olduğu için betonun çatlaması gibi bazı teknolojik sakıncaları olabilir.

Çimentonun su ile reaksiyonu sonucu açığa çıkan ısı “hidratasyon ısısı” olarak bilinir ve açığa çıkan ısı miktarı çoğunlukla çimentonun kimyasal bileşimine bağlıdır. Açığa çıkan ısı miktarı yaklaşık olarak ana bileşenlerin hidratasyon ısılarının çimentodaki ağırlıkları oranında belirlenen toplamına eşittir. Ana bileşenlerin tipik hidratasyon ısısı değerleri aşağıda tablo halinde verilmektedir.

Ana bileşen	Hidratasyon ısısı		
	J/g	cal/g	
C_3S	503	120	Portland çimentosunun hidratasyon ısısı yaklaşık olarak 85-100 cal/g dır.
C_2S	260	62	
C_3A	867	207	
C_4AF	419	100	

Çimentonun prizi ve sertleşmesi esnasında betonun içinde ısı sürekli bir biçimde yükselir ve ısıdaki bu artış betonda sıcaklığın artmasına neden olur. Beton bünyesinde meydana gelen sıcaklık, ısının ne kadar çabuk açığa çıktığı ve ne kadar çabuk betonu terk ettiği ile ilgilidir. Açığa çıkan ısı miktarı çoğunlukla çimentonun bileşimi ve inceliği ile kür sıcaklığına bağlıdır. Kütle betonlarda ısı miktarı ve açığa çıkış hızı önemlidir.

Açığa çıkan ısı yapıyı hızlı bir biçimde terk etmezse, betonun sıcaklığı önemli miktarda artabilir. Bu durum ısı genleşmeye neden olabileceği için arzu edilmez. Sertleşmiş beton üniform olarak soğumazsa, bünyesinde istenmeyen gerilmeler doğabilir ve sonuçta betonda önemli çatlaklar oluşabilir. Diğer taraftan, açığa çıkan ısı miktarının fazla olması özellikle kışın beton dökümünde bazı avantajlar sağlayabilir.

Portland çimentosunun kullanıldığı betonlarda toplam hidratasyon ısısının yaklaşık yarısı 1 ila 3 gün içinde, yaklaşık $\frac{3}{4}$ `ü 7 gün içinde ve %90`ı 6 ay içinde açığa çıkar. C_3S ve C_3A oranlarını düşürmek suretiyle çimentonun hidratasyon ısısı ve ısının açığa çıkış hızı düşürülebilir. Çimentonun, dolayısıyla betonun ilk 4 hafta (28 gün) dayanımından C_3S sorumlu iken C_2S `in dayanım üzerindeki etkisi ileri yaşlarda ortaya çıkar. Yaklaşık bir yılın sonunda, iki bileşen betonun dayanımına yaklaşık olarak eşit oranda katkıda bulunur.

HİDRATASYON ÜRÜNLERİNİN MORFOLOJİSİ

Hidratasyon sürecinin ilk birkaç dakikası içinde iğne biçiminde kristaller halinde etrenjit (kalsiyum sulfoaluminat hidrat) oluşmaya başlar. Birkaç saat sonra büyük prizmatik kristaller halinde portlandit ve çok ince telsi yapıda kristaller halinde tobermorit jeli (kalsiyum silikat hidrat) oluşur. Birkaç gün sonra, çimentonun alümin/sülfat oranına bağlı olarak, etrenjitin kararlı yapısı bozulur ve monosülfat hidrata dönüşür.

Kalsiyum silikat hidrat (C-S-H) hacim olarak çimento hamurunun %50-60`ını teşkil eden ve çimentoya bağlayıcılık özelliği kazandıran temel üründür. Portlandit,  $\text{Ca(OH)}_2$ , prizmatik hekzagonal kristal yapıda olup hidratlaşmış çimento hamurunun %20-25`ini oluşturmaktadır. Küçük yüzey alanı nedeniyle, tobermorite kıyasla, portlanditin çimento hamurunun dayanım gelişimine katkısı yoktur. Sudaki çözünürlüğü yüksek olması nedeniyle, çimento hamurunda yüksek oranda Ca(OH)_2 bulunması asidik ortamlara maruz betonların kimyasal dayanıklılığını olumsuz etkilemektedir.

Etrenjit (kalsiyum sulfoaluminat hidrat) hacim olarak çimento hamurunun %15-20`ini teşkil eder. Etrenjit, monosülfat hidrata dönüşmesi halinde, betonun sülfat içeren ortamlarda dayanıklılığı olumsuz etkilenir.  $\text{C}_4\text{AF}$ `ye oranla C_3A içeriği düşük çimentolar sülfatlı ortamlara maruz beton üretimi için daha uygundur.

Hidratasyon olayının ilk birkaç dakikası içinde iğne biçiminde kristaller halinde etrenjit (kalsiyum sulfoaluminat hidrat) oluşmaya başlar. Birkaç saat sonra büyük prizmatik kristaller halinde portlandit ve çok ince telsi yapıda kristaller halinde tobermorit jeli (kalsiyum silikat hidrat) oluşur. Birkaç gün sonra, çimentonun alümin/sülfat oranına bağlı olarak, etrenjitin kararlı yapısı bozulur ve hexagonal-plaka yapısında monosülfat hidrata dönüşür. Hexagonal-plaka morfolojisi aynı zamanda kalsiyum alüminat hidratların karakteristik özelliğidir. Küçük yüzey alanı nedeniyle, tobermorite kıyasla portlanditin çimento hamurunun dayanım gelişimine fazla katkısı yoktur.

Sudaki çözünürlüğünün yüksek olması nedeniyle, çimento hamurunda yüksek oranda Ca(OH)_2 bulunması asidik ortamlara maruz betonların kimyasal dayanıklılığını olumsuz etkilemektedir. Etrenjit (kalsiyum sulfoaluminat hidrat) hacim olarak çimento hamurunun %15-20`ini teşkil eder. Etrenjit, monosülfat hidrata dönüşmesi halinde, betonun sülfat içeren ortamlarda dayanıklılığı olumsuz etkilenir.  $\text{C}_4\text{AF}$ `ye kıyasla C_3A içeriği düşük çimentolar sülfatlı ortamlara maruz beton üretimi için daha uygundur.

Hidratasyon sürecinin herhangi bir aşamasında, çimento hamuru jel yapısında hidratasyon ürünlerinden, henüz hidratlaşmamış çimento taneleri ve jel ya da su dolu kılcal boşluklardan oluşur. Jel boşlukları ile kılcal boşluklar boyut itibarıyla birbirinden farklıdır. Jel boşlukları çimento hamurunun bir parçası olup çapları 5 ila 25 Å mertebesinde ve katı jelin %28`i bu boşluklardan oluşur. Boyutları küçük olduğu için jel boşluklarının çimento hamurunun dayanımı ve geçirimsizliği üzerinde olumsuz etkileri yoktur.

Diğer taraftan, hidratlaşmış çimento hamurunda nispeten büyük sayılabilecek kılcal boşluklar bulunur. Kılcal boşlukların boyutu su/çimento oranına ve çimento hamurunun hidratasyon derecesine bağlıdır. Kılcal boşluklar iyi hydrate olmuş düşük su/çimento oranlı çimento hamurunda 10 ila 50 nm mertebesinde iken, yüksek su/çimento oranına sahip hamurlarda ve

hidratasyon sürecinin erken döneminde 3 ila 5 µm arasında değişir. 50 nm'den büyük kılcal boşlukların dayanım ve geçirimsizlik üzerindeki etkisi olumsuzdur. Hidrate olmuş çimento hamurunun geçirimsizliği daha ziyade kılcal boşlukların birbirleriyle köprülenmiş olup olmaması ile alakalıdır.

Çimento hamurunda jel ve kılcal boşlukların yanı sıra hava boşlukları da bulunur. Kılcal boşlukların belli bir şekli olmamasına karşın hava boşlukları genellikle küreseldir. Kendiliğinden oluşan hava boşlukları 3 mm mertebesinde iken kimyasal katkı maddesi ilavesi ile oluşan boşluklar 50-200 µm civarındadır. Her iki tür hava boşluğu da kılcal boşluklardan oldukça büyüktür. Bu bakımdan dayanım ve geçirimsizlik üzerinde olumsuz etkileri vardır.

Çimento hamuru başlangıçta çimento taneciklerinden ve bu taneler arasında su dolu boşluklardan oluşur. 1 cm³ çimento tam hidrate olduğunda oluşan ürünlerin sığabilmesi için 2 cm³ hacme gereksinim duyulur. Hidratasyon ilerledikçe meydana gelen jel kılcal boşlukları doldurarak hem kılcal boşluklar hem aralarındaki köprülenme azalır.

İlk gün sonunda kılcal boşluklar büyük ölçüde tobermorite jeliyle dolmuş olur. 28 gün sonunda ise jel yapısı iyice yoğunlaşmış olur ve su/çimento oranına bağlı olarak hamurun fiziksel yapısı farklılık gösterir. Bu oran arttıkça, oluşan tobermorite jeli tüm kılcal boşlukları dolduramayacağı için boşluklu bir yapı oluşur. Bu ise çimento hamurunun sağlamlığını olumsuz etkiler.

Çimento tanelerinin yüzeyinde oluşan tobermorite jeli nedeni ile tanelerin iç kısımlarının hidratasyonu zorlaşır. Çimentonun tamamının hidratasyonu uzun zaman alabilir. Teorik olarak hidratasyonun aşağıdaki koşullar var olduğu sürece devam etmesi beklenir.

- Hidratasyonunu henüz tamamlamamış çimento varsa,
- Reaksiyonlara yetecek kadar su,
- Uygun ortam sıcaklığı.

Hidratasyon zamanla ilerleyen bir olaydır ve yıllarca sürebilir (10-15 yıl). Bu nedenle çimento ile üretilen malzemelerin dayanımı zamana bağlı olarak artar.

ÇİMENTO HAMURUNDA SU

Ortam nemine ve hamurun porozitesine bağlı olarak çimento hamurunun yüksek oranda su tutma kapasitesi vardır. Hidrate olmuş çimento hamuru içinde su birkaç şekilde bulunabilir. Bununla birlikte, bağlının azalmasına bağlı olarak hamur bünyesindeki su sürekli bir biçimde azaldığından suyun farklı halleri arasında kesin bir çizgi yoktur. Buna rağmen hidrate olmuş çimento hamurunun özelliklerini anlamak açısından suyun hamur içerisinde bulunma hali için bir sınıflama yapmak yararlı olabilir. Sertleşmiş çimento hamurunda boş veya kısmen su dolu boşluklardaki su buharının yanı sıra çimento hamuru bünyesinde su aşağıdaki şekillerde bulunabilir:

i) Bünye suyu (Kimyasal su): Jeli oluşturan katı kristal tanelerinin bünyesinde kimyasal olarak bağlı sudur. Tobermorit jelindeki ($3\text{CaO} \times 2\text{SiO}_2 \times 3\text{H}_2\text{O}$) su gibi. Kimyasal olarak bağlı su buharlaştırılmaz. Bu su, çimento hamurunun 1000°C ve üzerinde ısıtılmasıyla ve/veya kızdırılmasıyla uzaklaştırılabilir. Bu durumda jelin kristal yapısı bozulur.

ii) Yüzey suyu (Fiziksel su): Jeli oluşturan katı kristal tanelerinin yüzeyi tarafından fiziksel olarak tutulmuş sudur. Bu su buharlaştığında, jel parçacıklarının yüzey gerilimi ve bu parçacıklar arasında ve boşluklarda mevcut basınç dengesi değişir. Sonuçta jel taneleri birbirine yaklaşır. Çimento hamurunun su kaybetmesi neticesinde gerçekleşen bu olay *rötre* veya *büzülme* olarak bilinir.

iii) Serbest su: Jel boşluklarında bulunan ancak jel kristalleri tarafından tutulmamış olan su veya su buharıdır. Serbest suyun buharlaşması çimento hamurunda herhangi bir hacim değişikliğine neden olmaz.

ÇİMENTOLARIN ÖZELLİKLERİ

Kaliteli beton üretmek için çimentonun kalitesi hayati önem taşıdığından, çimento üretimi sıkı bir kontrol gerektirir. Çimentonun istenen kalitede olduğundan ve ilgili standartlara uygun üretildiğinden emin olmak için çeşitli testler yapılır. Bu deneyler daha ziyade çimentoların kimyasal, fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla yapılır.

Kimyasal özellikler daha ziyade çimentoların kimyasal bileşimi, oksit analizi, ana bileşen miktarları ve benzeri bilgilerden ibarettir. Bu özellikler fabrika tarafından belirli aralıklarla belirlenerek tüketiciye arz edildiği için burada bunların tümü tartışılmayacaktır. Yalnızca kireç doygunluk oranı ve alümin oranı kavramları açıklanacaktır.

Kireç Doymuluk Faktörü (KDF): Kireç doymuluk faktörü aşağıdaki formülle hesaplanır. Hesaplanan değer 0.66'dan küçük ve 1.02'den büyük olmamalıdır.

$$KDF = \frac{CaO - 0.7 \times (SO_3)}{2.8 \times (SiO_2) + 1.2 \times (Al_2O_3) + 0.65 \times (Fe_2O_3)}$$

Parantez içindeki terimler toplam çimentonun ağırlıkça yüzdesini ifade eder. Verilen sınırlar içindeki bir kireç doymuluk faktörü hammaddelerin oranının tatmin edici olduğunu, silika ve alümin ile birleşebilenin ötesinde kireç fazlalığının olmadığını gösterir. Kireç miktarı pahasına silika miktarındaki artış mukavemet gelişim hızını azaltır. Hâlbuki silika ve alümin ile birleşebileceğinden fazla kireç sertleşmiş çimento hamurunun hacim kararlılığını olumsuz etkiler.

Alümin Oranı (AO): Alüminanın (alüminyum oksit) demir okside oranı, $AO = \frac{Al_2O_3}{Fe_2O_3}$,

0.66'dan az olmamalıdır. Orandaki azalma, çimentodaki C_3A oranını azaltan ve C_4AF oranını artıran ferrik oksit içeriğindeki artıştan kaynaklanabilir.

Fiziksel Özellikler

Portland çimentosunun ortak fiziksel özellikleri incelik, özgül ağırlık, normal kıvam, priz süreleri ve hacim kararlılığı olarak verilebilir.

İncelik: Çimento tanelerinin ortalama boyutunu ifade eden bir göstergedir. Çimento incelidikçe, su ile karıştırıldığında, su ile reaksiyona girecek çimento yüzeyi fazla olacağı için hidratasyon hızı artacak ve çimento daha hızlı mukavemet kazanacaktır. Zaman ilerledikçe, tobermorit jelinin kimyasal reaksiyonu yavaşladığından uzun sürede inceliğin mukavemet

üzerindeki etkisi fazla olmaz. Çimentonun inceliği klinker daha uzun süre öğütülerek arttırılır. Çimentonun inceliği hidrasyon hızı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Çimento ne kadar ince olursa, erken yaşlarda açığa çıkan ısı miktarı fazla olacağından dayanım kazanma hızı da o oranda hızlı gerçekleşir. Bu nedenle özellikle kısa sürede mukavemet kazanan, mukavemeti yüksek çimento üretmek için incelik arttırılır. Çok ince öğütme açığa çıkan toplam ısıyı etkilemez, yalnızca bu ısının açığa çıkış hızını etkiler. Daha da ötesi, son derece ince öğütme, çimentonun nihai mukavemetini arttırmaz. Çimento inceliği arttıkça, aşağıda sıralanan özellikler kazanılır:

- Toz halindeki çimento ortam neminden daha çabuk etkilenir ve bozulur.
- Priz süreleri kısalmır.
- Erken yaşlarda dayanım artar.
- Alkali-silika reaksiyonu hızlanır.
- Rötire hızlanır ve dolayısıyla çatlama artar.
- Su kasma azalır ve çimentonun su ihtiyacı artar.

Çimento tanecikleri yaklaşık 1-100 µm çapındadır. Çimentonun inceliği eleme yöntemiyle veya özgül yüzey ölçülerek saptanabilir. Özgül yüzeyi belirlemede Blaine aparatı kullanılırken eleme yönteminde elek göz açıklığı 90 µm (0.09 mm) ve 200 µm (0.2 mm) olan iki elek kullanılır. Eleme yönteminde elenen çimentonun ağırlıkça yüzde kaçının elek üstünde kaldığı belirlenir. Özgül yüzey bir gram çimentoyu oluşturan tanelerin yüzey alanlarının toplamıdır. Portland çimentoları için Blaine aparatı ile belirlenen özgül yüzey minimum 2800 cm²/g (280 m²/kg) olmalıdır.

Özgül ağırlık: Çimentonun özgül ağırlığı Le Chatelier balonu diye bilinen derecelenmiş bir cam balon yardımıyla ölçülür. Belirli miktarda çimento sıfır çizgisine kadar benzin dolu derecelenmiş bu balona boşaltılınca benzin seviyesi çimentonun hacmiyle orantılı olarak yükselir. Direkt olarak okunan bu değer çimentonun hacmidir. Çimentonun ağırlığı bu hacme bölünerek özgül ağırlık hesaplanır. Portland çimentosunun özgül ağırlığı genellikle 3.15 g/cm³ civarında iken, puzolanik özellikli malzemeler içeren çimentoların özgül ağırlığı 2.90 g/cm³ civarındadır.

Normal kıvam: Priz sürelerinin tayininde deneylerin standart koşullarda yapılmasını sağlamak amacıyla çimento hamuru *normal kıvam* denilen bir kıvamda hazırlanır. Çimentolar için normal kıvamı Vicat aparatı ile belirlenir. Bu aparatla çimento hamurunun normal kıvamda olabilmesi için tam olarak ne miktarda su gerektiği belirlenir. Bu miktar çimento bileşimine, tipine ve inceliğine bağlı olarak değişir. Buna göre normal kıvam için gerekli su miktarı çimento ağırlığının yaklaşık %25 ila %33'ü mertebesinde dir. Bu şekilde hazırlanan hamura 10 mm çapında Vicat sondasının kendi ağırlığı altında girmesi sağlanır. 300 g ağırlığındaki sondanın dipten 5 ila 7 mm kalacak şekilde girmesi halinde çimento hamurunun normal kıvamda olduğu kabul edilir.

Priz süreleri: Priz süreleri standart kıvamda hazırlanan çimento hamuru üzerinde saptanır. Priz, çimento hamurunun sertleşmesini tanımlamak için kullanılan terimdir. Genel olarak, priz, plastik halden katı hale geçişi ifade eder. Çimento ile suyun karıştırılmasından çimento hamurunun priz almasına kadar geçen süreye *priz süresi* denir. Uygulamada, *priz başlama* ve *priz sonu* terimleri, keyfi seçilmiş priz aşamalarını tanımlamak için kullanılır. Priz sürecine çimento hamurundaki sıcaklık değişiklikleri eşlik eder. Priz başlama, sıcaklıkta hızlı bir artışa ve priz sonu ise tepe sıcaklığa karşılık gelir.

Priz süresini belirleme deneyinde yine Vicat aparatı kullanılır. Ancak bu kez 1 mm² kesitinde bir iğne prob olarak kullanılır. İğnenin taze çimento hamuruna girmesi dipten 3 ila 5 mm`ye eriştiği zaman priz başlamış kabul edilir. Çimentonun su ile karıştırılmasından itibaren bu ana kadar geçen süre *priz başlama süresi* olarak alınır. İğnenin üstten en fazla 1 mm girmesi prizin sona erdiğini gösterir. Çimentonun su ile karıştırılmasından itibaren bu ana kadar geçen süre *priz sona erme süresi* olarak bilinir.

Çimento hamurunun priz süresi önemlidir, çünkü çimento hamuru ancak bu süre içinde şekillendirilebilir. Bazı çimentolar birkaç dakika içinde hızla sertleşirken, diğerlerinin sertleşmesi nispeten daha uzun sürebilir. Bu nedenle priz süresinin çok kısa veya çok uzun olması istenmez. Çünkü betonun hazırlanması, taşınması, kalıba yerleştirilmesi ve sıkılanması için bir süre gerekir. Betonun bu süre içinde katılaşmaması istenir.

Diğer taraftan kalıba yerleştirilmiş betonun uzun süre geçmeden katılaşması ve mukavemetini kazanması arzu edilir. Bu nedenle çimentonun normal bir sürede katılaşmaya başlaması ve katılaşmasını da normal bir sürede tamamlaması istenir.

Çimento hamurunun çok kısa sürede katılaşmasını engellemek için klinkere alçıtaşı ilave edilip öğütülmektedir. Çimento hamuru çok kısa sürede katılaşması iki farklı şekilde gerçekleşebilir. Bunlardan biri *ani priz*, diğer *yalancı priz* olarak isimlendirilir. Ani priz, alçıtaşı miktarının yeterli olmadığı durumlarda gerçekleşir. Ani prizde çimento hamuru önemli miktarda hidrasyon ısısının açığa çıkması sonucu katılaşmaktadır. Zira C₃A`nın su ile hızlı reaksiyonu sonucu önemli miktarda ısı açığa çıktığından bu şekilde katılaşan hamur tekrar plastik hale getirilemez.

Yalancı priz, klinkerin öğütülmesi esnasında katılan alçı taşının değirmende yüksek sıcaklık etkisiyle suyunun bir kısmını kaybetmesi ve çimento su ile karıştırıldığında su ile reaksiyona girerek kaybettiği suyu bünyesine alması neticesinde katılaşması şeklinde gerçekleşir. Yalancı priz, açığa ısı çıkmaksızın gerçekleşen katılaşmadır. Bu şekilde katılaşan çimento hamuru sadece yoğrularak plastik hale getirilebilir. Yalancı prizin ani prizden farkı katılaşmanın ısı açığa çıkmaksızın gerçekleşmesidir.

Hacim kararlılığı: Hacim kararlılığı 30 mm çapında ve 30 mm yüksekliğinde bir kenarı yarık metal silindir biçiminde Le Chatelier halkası adı verilen bir aparat ile belirlenir. Bu halkanın içine doldurulan standart kıvamda çimento hamuru 24 saat 20°C`de su içinde tutulduktan sonra 4 saat kadar kaynar suda bekletilir ve halkanın açılma miktarı ölçülür. Açılma miktarını kolay ölçebilmek için yarığın iki kenarına 15 cm uzunluğunda iki metal çubuk tutturulmuştur. Açılma miktarı bu metal çubukların arasındaki uzaklık olarak ölçülür.

Bu deney, çimentoda CaO (serbest kireç) ve MgO (magnezi) bileşiklerinin zararlı miktarda olup olmadığını saptamak için gerçekleştirilir.

Çimento hamurunun sertleştikten sonra hacminde fazla değişim olmamalıdır. Bir kısıtlama, sertleşmiş çimento hamurunun kısıtlama koşulları altında bozulmasına neden olabilecek kayda değer bir genişlemenin olmaması gerektiğidir. Serbest kireç, magnezi ve kalsiyum sülfat reaksiyonları nedeniyle bu tür bir genişleme meydana gelebilir. Bu tür bir genişleme yapan çimentolar sağlam olmayan çimentolar olarak kabul edilir.

Mekanik Özellikler

Mekanik özellikler çimentoların standart eğilme ve basınç dayanımlarına ilişkin değerlerdir. Çimentoların eğilme ve basınç dayanımını belirlemede RILEM Cembureau tarafından benimsenen yöntemde olduğu gibi standart kum kullanılmaktadır. Standart kum, silis bakımından oldukça zengin ($\text{SiO}_2 > 88\%$) ve tane boyutu 0.60 ila 1.39 mm arasında değişen bir granülometriye sahip kumdur. Standart eğilme ve basınç deneyi için kullanılan harç şu şekilde hazırlanır. Buna göre harç, ağırlıkça, 1 kısım çimento (450 g) + 3 kısım standart kum (1350 g) + $\frac{1}{2}$ kısım su (225 g) olacak şekilde hazırlanmaktadır.

Hazırlanan harç, 4x4x16 cm boyutlarında üçlü kalıba yine standart bir biçimde doldurulup sıkılır. Kalıpları içinde 1 gün bekletilen prizmalar kalıplarından çıkarıldıktan sonra deney gününe kadar (genellikle 2, 7 ya da 28 gün) standart koşullarda (genellikle $20 \pm 2^\circ\text{C}$ su havuzu) kür edilir. Deney günü kür havuzundan çıkarılan prizmalar önce eğilme deneyine tabi tutularak iki parçaya bölünür, akabinde her iki parça üzerinde basınç deneyi uygulanır. Deneyisel gerçekleştirme aşağıda şematik olarak gösterilmektedir.

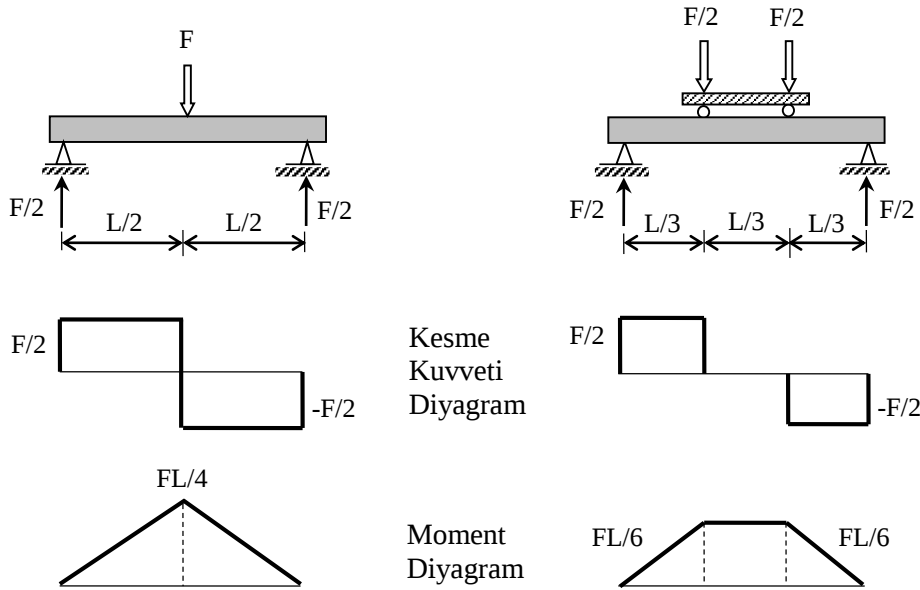
Prizmalar önce eğilme deneyine ve ababinde basınç deneyine tabi tutulur. Eğilme deneyi, prizmalar ya orta noktadan ya da $\frac{1}{3}$ noktadan yüklenerek gerçekleştirilir. Yükleme durumuna bağlı olarak eğilme dayanımı aşağıdaki bağıntılarla hesaplanır.

$$\sigma_f = \frac{3}{2} \times \frac{F \times L}{b \times d^2} \text{ (Orta noktadan yükleme hali)} \quad \sigma_f = \frac{F \times L}{b \times d^2} \text{ (1/3 noktadan yükleme hali)}$$

Burada F kırılma yükü, L mesnetler arası mesafe, b prizmanın genişliği ve d prizmanın yüksekliğidir.

Basınç dayanımı $\sigma_c = \frac{F}{A}$ şeklinde hesaplanır. Burada F kırılma yükü ve A kesit alanıdır.

Mevcut durumda numunenin kesit alanı $A = 4 \times 4 = 16 \text{ cm}^2$ dir. Böylece, eğilme dayanımı üç ölçümün, basınç dayanımı 6 ölçümün ortalaması olarak belirlenir.



ÇİMENTO TÜRLERİ

Çimentoların çoğu, betonu çeşitli çevresel koşullar altında daha dayanıklı hale getirmek için geliştirilmiştir. Bununla birlikte, yalnızca çimentonun bileşimi dikkate alınarak betonun dayanıklılık sorununa tam bir cevap bulmak mümkün olmayabilir. Sertleşmiş betonun dayanımı, geçirimsizliği, çevresel şartlara dayanıklılığı, büzülmesi ve sünmesi gibi temel mekanik ve fiziksel özellikleri çimento bileşimi dışındaki faktörlerden de etkilenir, bu büyük ölçüde dayanım kazanma oranını belirlese de.

Farklı türdeki çimentoların önemli fiziksel özelliklerindeki önemli farklılıklar yalnızca hidrasyonun erken aşamalarında gözlemlenir, iyi hidrate olmuş çimento hamurunda farklılıklar küçüktür. Normalde aynı tipteki çimentolar arasında bazen büyük farklılıklar olabilir. Bununla birlikte, farklı çimento türlerinin özelliklerinde genellikle keskin süreksizlikler yoktur ve bazı çimentolar birden fazla tür olarak değerlendirilebilir.

Çimentonun özelliklerindeki farklılık, dört ana bileşenin nispi oranlarından kaynaklanır. Kimyasal bileşimleri farklı Portland çimentoları, hidrate olduklarında, farklı özellikler gösterebilir. Bu nedenle, hammadde karışım miktarlarını ayarlamak suretiyle istenen özelliklere sahip çimentolar üretmek mümkündür.

TS EN 197-1 kapsamında çimentolar 5 ana grup altında 27 farklı tip halinde verilmektedir. Çimentoların kısa isimleri, bileşimleri ve bileşen oranları Çizelge 1`de verilmektedir.

CEM I Portland çimentoları
CEM II Portland kompoze çimentolar
CEM III Yüksek fırın cürufllu çimentolar
CEM IV Puzolanlı çimentolar
CEM V Kompoze çimentolar

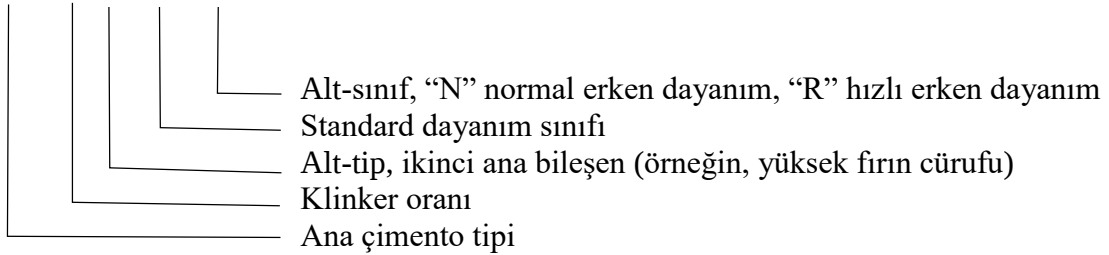
Çizelge 1. Üretilen çimento türleri

Çimento Grupları	Çimento Tipleri	Sembolü	Bileşim ve oranlar (% ağırlık olarak)
CEM I	Portland Çimentoları	CEM I	95-100 Klinker
CEM II	Portland-Cürufllu Çimentolar	CEM II/A-S	80-94 Klinker; 6-20 S
		CEM II/B-S	65-79 Klinker; 21-35 S
	Portland-Silis Dumanlı Çimentolar	CEM II/A-D	90-94 Klinker; 6-10 D
	Portland-Puzolanlı Çimentolar	CEM II/A-P	80-94 Klinker; 6-20 P
		CEM II/B-P	65-79 Klinker; 21-35 P
		CEM II/A-Q	80-94 Klinker; 6-20 Q
		CEM II/B-Q	65-79 Klinker; 21-35 Q
	Portland-Uçucu Küllü Çimentolar	CEM II/A-V	80-94 Klinker; 6-20 V
		CEM II/B-V	65-79 Klinker; 21-35 V
		CEM II/A-W	80-94 Klinker; 6-20 W
		CEM II/B-W	65-79 Klinker; 21-35 W
	Portland-Pişmiş Şistli Çimentolar	CEM II/A-T	80-94 Klinker; 6-20 T
		CEM II/B-T	65-79 Klinker; 21-35 T

	Portland-Kalkerli Çimentolar	CEM II/A-L	80-94 Klinker; 6-20 L (TOC $\leq$ 0.50)
		CEM II/B-L	65-79 Klinker; 21-35 L (TOC $\leq$ 0.50)
		CEM II/A-LL	80-94 Klinker; 6-20 LL (TOC $\leq$ 0.20)
		CEM II/B-LL	65-79 Klinker; 21-35 LL (TOC $\leq$ 0.20)
	Portland-Kompoze Çimentolar	CEM II/A-M	80-94 Klinker; 6-20 (S+D+P+V+W+L+LL)
		CEM II/B-M	65-79 Klinker; 21-35 (S+D+P+V+T+L+LL)
CEM III	Yüksek Fırın Cürufllu Çimentolar	CEM III/A	35-64 Klinker; 36-65 S
		CEM III/B	20-34 Klinker; 66-80 S
		CEM III/C	5-19 Klinker; 81-95 S
CEM IV	Puzolanlı Çimentolar	CEM IV/A	65-89 Klinker; 11-35 (D+P+Q+V+W)
		CEM IV/B	45-64 Klinker; 36-55 (D+P+Q+V+W)
CEM V	Kompoze Çimentolar	CEM V/A	40-64 Klinker; 18-30 S; 18-30 (P+Q+V)
		CEM V/B	20-38 Klinker; 31-40 S; 31-40 (P+Q+V)
Çizelgede verilen oranlar ana ve ikincil bileşenlerin toplamıdır. Silis dumanının oranı %10 ile sınırlandırılmıştır. S: Yüksek fırın cürufu; D: Silis dumanı; P: Doğal puzolan; Q: Doğal kalsine puzolan; V: Silisli uçucu kül; W: Kalkerli uçucu kül; T: Pişmiş şist; L: Kalker (TOC $\leq$ 0.50, kütlece); LL: Kalker (TOC $\leq$ 0.20, kütlece); TOC: Toplam organik karbon içeriği.			

TS EN 197-1 standardında çimentoların tanımı ana çimento tipi, klinker oranı, ikinci ana bileşen, standart dayanım sınıfı (28 günlük) ve erken dayanım kazanma hızı dikkate alınarak yapılır. Aşağıda çimento tipi gösterimine ilişkin bir örnek verilmektedir.

CEM II/A-S 42.5 N



Çimentoların dayanım sınıflaması ilgili standartlarda 32.5, 42.5 ve 52.5 MPa olmak üzere üç sınıf halinde verilmektedir.

ÇİMENTOLARIN KULLANIM ALANLARI

Standartlara uygun üretilmiş bütün çimentolar her çeşit beton üretiminde kullanılabilir. Ancak özel şartlar taşıyan betonlar için söz konusu koşullara uygun bir çimento cinsinin seçimi betonun performansı ve hizmet ömrü açısından vazgeçilmezdir.

CEM I tip çimentoların kullanım alanları: Bu tip çimentolar her çeşit beton üretiminde kullanılabilir. Yüksek mukavemeti gerektiren uygulamalarda 42.5 MPa veya 52.5 MPa dayanıma sahip olanlar tercih edilir. Erken dayanımın yüksek olması istenen durumlarda, soğuk havalarda beton dökümünde, erken kalıpalma ve onarım işlerinde R işaretli olanlar kullanılmalıdır. Normal şartlarda beton dökümünde N işaretli olanlar kullanılmalıdır.

CEM II tip çimentoların kullanım alanları: Bu çimentolar A ve B olmak üzere iki tür halinde üretilmektedir. Tip A'da %6-20, tip B'de %21-35 oranında katkı bulunmaktadır. Katkı cinsinin tras, uçucu kül veya yüksek fırın cürufu gibi puzolanik özellikte olması halinde

özellikle B işaretli olanlar yüksek mukavemetin gerekli olmadığı uygulamalarda, özellikle hidratasyon ısısının düşük olması gereken yerlerde kullanılabilir. A işaretli çimentoların bileşiminde katkı oranı az olduğundan bu tip çimentolar katkıli Portland çimentosu yapısındadır ve Portland çimentosu yerine kullanılabilir. B işaretli olanlar betonun geçirimsizliğini azaltıcı etkileri dolayısıyla suya maruz yapılarda ve zararlı yeraltı sularıyla temas eden uygulamalarda tercih edilirler.

Silis dumanı içeren çimentoların yüksek mukavemetli beton üretiminde ve zararlı kimyasal etkilerin hâkim olduğu ortamlardaki betonlarda süper akışkanlaştırıcılarla kullanımı uygundur. Pişmiş şist içerenler az da olsa hidrolik özellik gösterdiklerinden su yapılarında Portland çimentosu yerine kullanılabilir.

CEM III tip çimentoların kullanım alanları: Bu çimentolar içerdikleri yüksek fırın cürufu itibarıyla üç tiptir. Tip A ve B hidratasyon ısısı düşük ve kimyasal etkilere dayanıklı betonlar için idealdir. Bunlar hidratasyon ısıları düşük çimentolar oldukları için özellikle kütle beton uygulamaları için son derece uygundur. Tip C'de %81-95 oranında yüksek fırın cürufu bulunur. Bu nedenle sülfat etkisine karşı oldukça dayanıklıdır.

CEM IV tip çimentoların kullanım alanları: Bu tip çimentolar puzolanik özellikli olup hidratasyon ısıları düşüktür. Betonun geçirimsizliğini azaltıcı etkileri nedeniyle kimyasal etkilerin söz konusu olduğu ortamlarda kullanımları tercih edilir. Örneğin, deniz yapıları ve kütle beton yaygın olarak kullanıldıkları uygulamalardır.

CEM V tip çimentoların kullanım alanları: Bu çimentoların bileşiminde yüksek fırın cürufu, tras ve uçucu kül bulunur. Bu nedenle bu çimentoların puzolanik etkileri yüksektir. Bu tür çimentolar zararlı ortamlarda, deniz içi yapılarda, kütle beton dökümünde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Çizelge 2. Çimentoların bazı karakteristik özellikleri

Özellik	Çimento Tipi	Basınç Dayanımı (N/mm ²)			
		Erken Dayanım		Standart Dayanım	
		2 Gün	7 Gün	28 Gün	
Mukavemet (N/mm ²)	CEM 32.5 N	--	≥ 16.0	≥ 32.5	≤ 52.5
	CEM 32.5 R	≥ 10.0	--		
	CEM 42.5 N	≥ 10.0	--	≥ 42.5	≤ 62.5
	CEM 42.5 R	≥ 20.0	--		
	CEM 52.5 N	≥ 20.0	--	≥ 52.5	--
	CEM 52.5 R	≥ 30.0	--		
Priz Başlama Süresi	CEM 32.5 CEM 42.5 CEM 52.5	≥ 75 dakika ≥ 60 dakika ≥ 45 dakika			
Hacim Genleşmesi	CEM 32.5 CEM 42.5 CEM 52.5	≤ 10 mm			
Sülfat İçeriği (SO ₃), (%)	CEM 32.5 N CEM 32.5 R CEM 42.5 N	≤ %3.5 (CEM I, CEM II, CEM IV ve CEM V)			
	CEM 42.5 R CEM 52.5 N CEM 52.5 R CEM III	≤ %4.0 (CEM III çimentolarının bütün tipleri)			

Kızdırma Kaybı	CEM 32.5 CEM 42.5 CEM 52.5	$\leq \%5.0$ (Yalnız CEM I ve CEM III için)
Çözünmeyen Kalıntı	CEM 32.5 CEM 42.5 CEM 52.5	$\leq \%5.0$ (Yalnız CEM I ve CEM III için)
Klorür	CEM 32.5 CEM 42.5 CEM 52.5	$\leq \%0.10$
Not 1: Çimento tiplerini belirleyen rakamlar söz konusu çimentonun 28 günlük standart basınç mukavemetidir. Not 2: Çimento sembolünde bulunan (N) işareti çimentonun dayanım açısından (normal), (R) işareti ise erken dayanım kazanan bir çimento olduğunu gösterir. Not 3: EN standartlarında çimentoların inceliği konusunda herhangi bir sınır değeri verilmemiştir. Üreticiler gerekli olan mukavemet değerini elde etmek üzere öğütme derecesini ayarlamakta serbest bırakılmıştır.		

KATKILI PORTLAND ÇİMENTOLARI

Daha önce belirtildiği gibi, Portland çimentosu klinkerin az miktarda alçı taşı ile birlikte öğütülmesiyle üretilir. Katkılı Portland çimentosu, Portland çimentolarının ya hızlı soğutulmuş yüksek fırın cürufu ya da puzolan veya uçucu kül ve silis dumanı gibi puzolanik malzemelerle karışımları ile sınırlıdır. Bu malzemeler kendi başlarına bağlayıcı özelliğe sahip değildir. Ancak ince öğütüldüklerinde ve nemin varlığında kalsiyum hidroksit ile birleştiklerinde hidrolik bağlayıcı özellik kazanırlar.

Kakılı çimentolar, Portland çimentosu klinkerinin bu malzemelerin her biri ile %3-6 alçı taşı ile birlikte öğütülmesiyle üretilir. Volkanik tüf ve volkanik kül, katkılı çimento üretiminde yaygın olarak kullanılan doğal puzolanlardır. Puzolanik davranışı dolayısıyla yüksek fırın cürufu cürufu çimento üretiminde kullanılır.

Katkılı çimentoların üretiminde klinkerin bir miktarı puzolanik malzemelerle yer değiştirilir ve bunlar birlikte öğütülür. Klinkerin yerini alan puzolanik malzeme miktarı %6 ila %94 arasında değişmektedir. Katkılı çimento su ile karıştırıldığında, Portland çimentosu bileşiminde bulunan C₃S karma bileşeni C-S-H jeli ve kalsiyum hidroksit üretmeye başlar. Bu şekilde üretilen kalsiyum hidroksit yeni C-S-H jeli üretmek üzere puzolanik malzeme ile reaksiyona girer.

Daha az miktarda klinker içerdikleri için muhtemelen katkılı Portland çimentolarının geliştirilmesinin asıl nedeni maliyettir. Bazı yönlerden, katkılı çimentolar Portland çimentolarına kıyasla daha iyi performans göstermektedir.

Puzolanın mukavemet gelişimi kalsiyum hidroksit oluşumundan sonra başlar. Bu nedenle, katkılı çimentoların hidrasyon ısı ve mukavemet gelişimi ilk günlerde düşüktür. Bununla birlikte, katkılı çimentoların nihai mukavemeti Portland çimentosunununkine ulaşır.

ÇİMENTOLARIN KARŞILAŞTIRILMASI

Portland çimentoları dışındaki çimentolar Portland çimentosu klinkerine öğütme sırasında alçıtaşı ile bazı puzolanik özellikli malzemeler katılarak üretilir. Bu nedenle üretim bakımından çimentolar Portland çimentoları ve katkılı çimentolar diye ikiye ayrılır. Portland çimentoları genel amaçlı çimentolardır. Her türlü beton üretiminde kullanılabilir. Katkılı çimentoların kullanım alanları Portland çimentolarına benzer. Katkılı çimentoların Portland çimentolarına göre bazı üstünlükleri ve bazı dezavantajları vardır.

Üstünlükleri:

- Üretimde katkı olarak kullanılan puzolan çimentodaki serbest kireci bağladığından kimyasal dayanıklılık artar.
- Hidratasyon ısısı ve bu ısının açığa çıkma hızı düşüktür. Bu bakımdan özellikle kütle beton üretiminde ve sıcak havada beton dökümünde uygundur.
- İncelikleri yüksek olduğu için kullanıldıkları betonun geçirimsizliği azalır.
- Dona dayanıklılıkları daha yüksektir.
- Satış fiyatları çok yakın olsa bile Portland çimentosuna nazaran üretimleri daha ucuzdur. Bu da ülke ekonomisi açısından yararlıdır.
- Katkı olarak yapay puzolanik maddelerin kullanılması ekolojik yönden yararlıdır.

Dezavantajları:

- Portland çimentolarına oranla daha yavaş mukavemet kazanırlar.
- Hidratasyon ısısı düşük olduğu için soğuk havada beton dökümü için uygun değildir.
- Mukavemet kazanmaları yavaş olması nedeniyle betonun kalıpta daha uzun süre bekletilmesi ve uygun nem koşullarının daha uzun süre sürdürülmesi gerekebilir.
- Portland çimentolarına nazaran daha ince öğütülmeleri gerekir.
- Daha ince öğütüldüklerinden aynı kıvam için Portland çimentolarına oranla daha fazla suya ihtiyaç duyulur. Bu ise rötreyi artırır. Bu nedenle dar kesitli yapı elemanlarında ve yüksek dozajlı beton üretiminde kullanımları pek uygun değildir.
- Daha ince öğütüldüklerinden havanın nemiyle bozulma ihtimalleri daha yüksektir.

ÇİMENTOLARIN STOKLANMASI

Çimentolar nemden etkilenmesi sonucu hidratasyon yaparak bozulabilir. Yani bağlayıcılık özellikleri ve dolayısıyla mukavemetleri azalabilir. Nemden etkilenen çimento topaklaşır. Çimentoda bulunan topaklar elle ezildiğinde dağılmıyorsa bu çimento betonarme inşaatında kullanılmamalıdır. Özellikle inceliği fazla olan çimentolar bu şekilde bozulmaya daha yatkındır. Bu nedenle katkılı çimentoların saklama koşullarına dikkat edilmelidir. Şantiyede kâğıt torbalarda tahta döşeme üzerinde kapalı bir yerde veya açıkta ancak üstü örtülü olarak saklanmalı. Torbalar iki metreyi ya da üst üste 12 torbayı geçmeyecek şekilde istiflenir. Şantiyede, çimento siloda saklanıyorsa bozulma ihtimali oldukça azalır.

Üç aydan daha uzun süre depolanmış torba çimentonun mukavemetinde azalma meydana gelir. Azalma miktarı çimentonun yaşı ile orantılı olarak her ay için %5 dolayındadır. Özellikle yüksek mukavemetli ve puzolan katkılı çimentoların bir aydan, diğerleri de iki aydan fazla bekletilmemelidir. Depolanan çimentonun kalitesinden şüphelenildiğinde atandart mukavemet testleri ve/veya kızdırma kaybı testleri gerçekleştirilmelidir.

ÖZEL ÇİMENTOLAR

Bu çimentolar genel amaçlı olmayıp “özel çimentolar” olarak bilinir. Önemlileri beyaz Portland çimentosu, harç çimentosu, sülfata dayanıklı çimento, alüminli çimentodur.

Beyaz Portland Çimentosu (BPC 32.5 ve BPC 42.5): Hammaddeleri beyaz kil, kalker ve mermer tozu olan bir Portland çimentosudur. Demir oksit miktarının çok az olması nedeniyle beyaz renkte olan bu çimento estetik görünümün önemli olduğu uygulamalarda kullanılır. Yer karosu, kent mobilyası üretimi, suni taş, sıva, mozaik ve döşeme işlerinde yaygın olarak kullanılan bu çimentolar farklı hammaddeleri ve farklı üretim yöntemleri nedeniyle Portland çimentolarından pahalıdır.

Harç Çimentosu (HC 16): Bileşiminde %60’a varan oranda puzolanik madde bulunan bir çimentodur. Yüksek dayanım gerektirmeyen dolgu, sıva, harç işlerinde kullanılır. Harç çimentosu ile üretilen harçlar, normal Portland çimentosu ile üretilenlerden daha plastik özelliğe sahiptir ve daha az rötreye yapar.

Sülfata Dayanıklı Çimento (SDC 32.5 ve SDC 42.5): Çimentoların sülfat etkisine karşı en kararsız karma bileşeni C_3A ’dır. Portland çimentolarındaki C_3A miktarı %8-11 oranında bulunduğu için bu tip çimentoların sülfat etkisine maruz betonarme yapılarda kullanılması mantıklı değildir. Sülfata dayanıklı çimentolar C_3A miktarı en fazla %5 olacak şekilde üretilirler. Bu tip çimentolar deniz suyu ve sülfat içeren zeminler ve diğer sülfatlı ortamlar için en uygun çimentolardır.

Alüminli Çimento: Bu çimentolar boksit ile kalkerin $1700^{\circ}C$ ’de pişirilmesi ile üretilirler. İçerdikleri alümin miktarı %30’dan fazladır. Esas karma bileşenleri kalsiyum alüminat (CA) ve C_2S ’dir. Kimyasal reaksiyonları Portland çimentosundan farklıdır ve hidrasyon süreci oldukça hızlıdır. Asit karakterli olduğundan asitlerden zarar görmez. Hidrasyon ürünleri arasında $Ca(OH)_2$ oluşmadığından kimyasal etkilere karşı çok dayanıklıdır. Yüksek sıcaklıklara karşı dayanıklı bir çimentodur.

Bu çimentolar Portland çimentoları ile karıştırılarak baraj ve tünellerde oluşan su sızıntılarını önlemede ve aynı zamanda yüksek sıcaklıklara dayanıklı olduğundan fırın, baca gibi yerlerde kullanılır.