

KARIŞIM SUYU (KARMA SUYU)

Betonun temel bileşenlerinden olan suyun iki temel işlevi vardır:

- Çimentonun hidrasyonunu sağlamak,
- Agrega tanelerinin yüzeyini ıslatarak betona akıcılık sağlamak. Yani, ayrışma ve su kuma olmaksızın, betonun karılabilirliğini, yerleştirilebilirliğini, sıkıştırılabilirliğini ve yüzeyinin düzeltilebilirliğini sağlamak.

Çimentonun hidrasyonu için gerekli su miktarı kullanılan çimento ağırlığının yaklaşık %25'i kadardır. Ancak suyun işlenebilirlik işlevi nedeniyle karışıma çoğu zaman hidrasyon için gereken miktarın 2-3 katı kadar su konmaktadır.

Beton üretiminde kullanılan karışım suyunun kalitesi ve miktarı betonun özelliklerini önemli ölçüde etkiler. Karışım suyunun içinde organik maddeler, kil, silt gibi ince taneler, asit ve alkaliler, kanalizasyon atıkları bulunmamalıdır. Karma suyunda istenmeyen miktarlarda yabancı maddelerin bulunması durumunda çimentonun priz ve hidrasyon süreci olumsuz etkilenebilir. Buna bağlı olarak sertleşmiş betonun dayanımı ve dayanıklılığı da olumsuz etkilenir. Bu tür maddeler aynı zamanda beton yüzeyinde lekelere neden olabilir; hatta donatının paslanmasına bile yol açabilir. Bu nedenle, karma suyu olarak veya kür için kullanılan suyun uygun nitelikte olması gerekir.

Belli bir kokusu olmayan ve içilebilir tüm doğal sular karma suyu olarak kullanılabilir. Ancak yüksek konsantrasyonda sodyum ve potasyum içeren içilebilir sular alkali-agrega reaksiyonu riski nedeniyle karma suyu olarak kullanımı uygun olmayabilir. Diğer taraftan, içilebilir olmamasına rağmen bazı sular karma suyu olarak kullanılabilir, akan su gibi. Kural olarak, pH (asitlik derecesi) değeri 6-8 olan, acı veya tuzlu olmayan ancak koyu renkte ya da kokusu olan her su zararlı madde içeriyor anlamına gelmez ve dolayısıyla karma suyu olarak kullanılabilir. Hafif asidik doğal sular zararsızdır ancak humik veya diğer organik asitler içeren sular betonun sertleşmesini olumsuz etkileyebilir. O nedenle, bu tür sular ve alkaliliği yüksek sular kullanılmadan önce mutlaka test edilmelidir.

Bazı ülkelerde yeterince tatlı su bulmak çok zor olabilir; yalnızca bataklık suyu bulunabilir. Bu sular klor ve sülfat içeren sulardır. Klor iyonu içeriği 500 ppm veya SO_3 içeriği 1000 ppm değerini aşmayan sular zararsız kabul edilir. Bu sulara aynı zamanda alkali karbonat ve bikarbonatlar 1000 ppm değerini aşmamalıdır.

Deniz suyu karma suyu olarak kullanılabilir ancak tuzun beton yüzeyinde kristalleşmesi sonucu ıslaklıklar ve çiçeklenme meydana gelebileceği gibi betonarme elemanlarda donatının korozyonuna da sebebiyet verebilir. Bu nedenle görünümün önemli olduğu durumlarda veya sıva kullanılan betonlarda ve betonarme betonlarında deniz suyu kullanmaktan kaçınılmalı; önerilmeli betonlarda kesinlikle kullanılmamalıdır.

Diğer taraftan, deniz suyu veya tatlı suya tamamen gömülü betonarme yapıları için üretilen betonda deniz suyu kullanılabilir. Bununla birlikte uygulamada deniz suyunun karma suyu olarak kullanımı genellikle önerilmemektedir.

Suyun kalitesinden şüphe edildiğinde su tahlil edilebilir ya da bu su ile üretilen betonun özellikleri, kalitesi bilinen bir su kullanılarak üretilmiş betonun özellikleriyle karşılaştırılır. Örneğin, her iki su ile üretilen betonların basınç dayanımları değerlendirilebilir. Buna göre, şüpheli su ile üretilen betonun basınç dayanımı, kalitesi bilinen su ile üretilen betonun basınç dayanımının %90'ından az olmamalıdır.

KİMYASAL KATKI MADDELERİ

Kimyasal katkı maddeleri suda tamamen çözünene maddeler olup betona karışım öncesi veya esnasında küçük miktarlarda katılırlar. Bu maddeler betonun taze haldeki ve/veya sertleşmiş haldeki özelliklerini belirli bir amaca uygun olarak değiştiren maddelerdir. Çok çeşitli kimyasal katkı maddeleri vardır. Bunların çoğu çeşitli endüstri kollarından yan ürün olarak elde edilen birkaç bileşenli maddelerdir. Kimyasal katkı maddeleri beton üretiminde genelde aşağıda sıralanan bir veya birden fazla amaç için kullanılabilir:

- İnşaat maliyetini azaltmak.
- Betona başka yöntemlerden daha etkin bir biçimde belli özellikler kazandırmak.
- Olumsuz hava koşullarında karıştırma, taşıma, yerleştirme, sıkılama ve kür esnasında betonun kalitesini temin etmek.
- Beton dökümü esnasında bazı acil durumların üstesinden gelmek.

Uygun tasarım, üretim, yerleştirme, sıkılama ve kür süreçlerinin yerini alabilecek hiçbir katkı maddesinin henüz üretilmediği gerçeğini unutmamak gerekir. Beton bileşimine çok az miktarda katılan kimyasal katkı maddeleri çimento hamurunun yapısını, hidrasyon sürecini değiştirmek suretiyle daha çok taze betonun reolojisi üzerinde etkili olurlar. Bu nedenle kimyasal katkı maddeleri genellikle “düzenleyici” olarak bilinirler.

Bu katkı maddeleri sağladıkları etkiye göre sınıflandırılırlar. Bu etki çimento türü ve miktarına bağlı olduğu kadar beton bileşimine, karıştırma süresine, sıcaklığa, agrega biçimi ve yüzey dokusu ile granülometrisine de bağlıdır. Beton özellikleri üzerinde sağladıkları etkiye bağlı olarak kimyasal katkı maddelerini aşağıdaki gibi sınıflandırmak mümkündür:

- Hava sürükleyici katkı maddeleri
- Su indirgeyici katkı maddeleri (Plastikleştiriciler)
- Priz geciktirici katkı maddeleri
- Priz hızlandırıcı katkı maddeleri
- Su indirgeyici ve priz geciktirici katkı maddeleri
- Su indirgeyici ve priz hızlandırıcı katkı maddeleri
- Yüksek oranda su indirgeyici katkı maddeleri (Süper plastikleştiriciler)
- Muhtelif katkı maddeleri

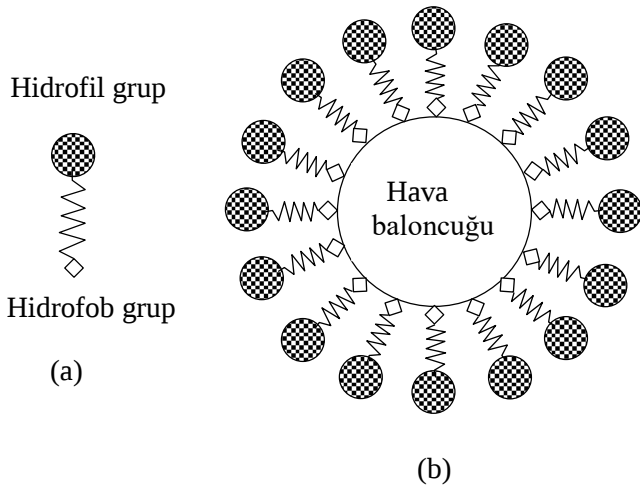
Muhtelif katkı maddeleri grubu kapsamında nem önleyici, geçirimsizlik sağlayıcı, genleşme yapıcı, korozyon önleyici, renklendirici, gaz yapıcı ve pompalanabilirlik sağlayıcı gibi çeşitli kimyasal katkı maddelerinden söz etmek mümkündür.

Hava Sürükleyiciler: Bunlar çimento hamuru bünyesinde birbiriyle bağlantısı olmayan çok küçük boyutlu ve kararlı yapıda hava boşluklarının oluşmasını sağlayan katkı maddeleridir. Hava sürükleyici katkı maddeleri betonun dona karşı dayanıklılığını arttırmak amacıyla kullanılırlar. Çimento hamuru bünyesinde oluşan milyonlarca minnacık hava boşlukları sayesinde taze betonun kıvamı daha akışkan hale gelir ve işlenebilirlik artar; ayrışma ve su kuma azalmaktadır.

Sürüklenen hava ayrıca buz eriticilerin betonda neden olduğu yüzey pullanmasına karşı direnci artırmaktadır. Hava boşluklarının betonun basınç dayanımında neden oldukları azalma nedeniyle hava sürükleyici katkı maddelerinin özellikle yol ve havaalanı pisti inşaatlarında kullanımları dikkat gerektirir.

Hava Sürükleyicilerin Etki Mekanizması

Hava sürükleyici kimyasal katkı maddelerinin çoğu organik kökenli olup karıştırma esnasında hava-su arayüzeyine etki yapma suretiyle suyun köpüklenmesine neden olan yüzey aktif maddelerdir. Bu maddeler genellikle molekül yapıda olup aşağıda şematik olarak gösterildiği gibi molekülün hidrofob ucu hava baloncuğu içine girer ve hava-su arayüzeyine yerleşirler. Molekülün bir ucu normal olarak hidrofil (suyu seven) özellikte olup suda erirken diğer ucu hidrofob (suyu iten) özelliktedir. Hava baloncukları taze beton içinde oluşurlar ve sertleşmiş beton bünyesinde küçük küresel boşluklar biçiminde yapılarını korurlar. Bu yapı, betonda “hava-boşluk sistemi” olarak bilinir.



Yüzey-aktif moleküller vasıtasıyla hava sürüklemenin şematik gösterimi

(a) Yüzey-aktif molekül (b) Stabil hale gelmiş hava baloncuğu

Su İndirgeyiciler: Bunlar kullanıldıkları betonun kıvamını daha akışkan hale getiren katkılardır. Su indirgeyiciler aynı zamanda “plastikleştiriciler” olarak da bilinir. Su indirgeyiciler aşırı dozlarda kullanıldığında priz geciktirici etki yaparlar.

Su indirgeyiciler azalttıkları su miktarına göre ve bunun yanı sıra priz süresine yapmış oldukları etkiye göre aşağıdaki gibi sınıflandırılabilirler:

- Normal su indirgeyiciler
- Yüksek oranda su indirgeyiciler
- Su indirgeyici ve priz geciktiriciler
- Su indirgeyici ve priz hızlandırıcılar
- Yüksek oranda su indirgeyici ve priz geciktiriciler

Normal su indirgeyici katkı maddeleri genellikle %5 ila %11 oranında su azaltırlar. Bunlar “plastikleştirici” veya “akışkanlaştırıcı” olarak da bilinirler.

Yüksek oranda su indirgeyiciler en az %12 oranında su azaltırlar. Bu katkı maddeleri “süper plastikleştiriciler” veya “süper akışkanlaştırıcılar” olarak da bilinirler.

Su indirgeyici ve priz geciktiriciler belli bir kıvam için hem %5 ila %11 oranında su azaltırlar hem de priz süresini uzatma özelliği gösterirler. Su indirgeyicilerin su indirgeyici özellikleri yanı sıra priz hızlandırıcı özellik gösterenleri de vardır.

Yüksek oranda su indirgeyici ve priz geciktiriciler belli bir kıvam için en az %12 oranında su azaltan ve aynı zamanda prizi geciktiren katkı maddeleridir. Yüksek oranda su indirgeyiciler normal su indirgeyicilere kıyasla daha yüksek dozajlarda kullanılırlar ve sağladıkları akıcılık sonucu %30'a varan oranda su azaltabilmektedirler.

Su indirgeyici kimyasal katkı maddeleri genelde üç temel amaç için kullanılırlar:

- Beton bileşimini değiştirmeksizin betonun işlenebilirliğini artırmak; dolayısıyla, ulaşılması zor yerlere betonun yerleşmesini kolaylaştırmak
- Betonun kıvamını değiştirmeden betona katılan su miktarını azaltarak su/çimento oranını düşürmek ve dolayısıyla daha yüksek dayanım elde etmek
- Betonun su/çimento oranını sabit tutmak suretiyle su ve çimento miktarlarını azaltmak; dolayısıyla, teknik ve ekonomik yararlar sağlamak.

Priz Geciktiriciler: Bu katkı maddeleri betonun hızlı priz yapmasına neden olan sıcak hava koşullarının etkisini kontrol suretiyle priz süresini uzatma özelliği olan maddelerdir. Haliyle, priz süresi uzamış olduğundan aynı zamanda betonun işlenebilirlik süresi de uzamış olur.

Betonun priz yapmasını geciktirmek, sıcak havada beton dökmek veya betonu yerleştirmede süreyi uzatmak, vibrasyon yapmak ve betonun yüzeyini düzeltmek gibi pek çok durumda hayati önem taşıyabilir.

Priz geciktiriciler brüt beton üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu katkı maddelerinin kuruma büzülmesini ve su kusmayı arttırmak gibi sakıncaları olabilir.

Priz geciktiriciler genelde şu amaçlar için kullanılır:

- Sıcak havanın betonun prizi üzerindeki hızlandırıcı etkisini bertaraf etmek.
- Beton dökümü esnasında olağandışı koşullar halinde başlangıç prizi geciktirmek.
- Agregalı görümlü özel yüzey bitirme işlemleri için priz süresini geciktirmek.

Priz Hızlandırıcılar: Bu katkı maddeleri kullanıldıkları betonun katılaşma sertleşme sürecini kullanılmadıkları betona kıyasla hızlandıran katkı maddeleridir. Bu katkılar betonun priz sürecini hızlandırdıkları gibi dayanım kazanma hızı ve hidrasyon ısısı üzerinde de artırıcı etkileri vardır. Bunlar daha çok kalıpların çabuk alınması istenen inşaat işlerinde, yapının kısa sürede kullanıma açılması istenen onarımlarda ve soğuk havada beton dökümünde kullanılırlar.

Bu katkılar aynı zamanda hidrasyonu kısmen hızlandırdıkları için kışın beton dökümünde donma-çözülmenin betona vereceği hasarı bertaraf etmek için gerekli bakım süresini kısaltabilirler. Bu katkıların dayanımı azaltmak, donatı korozyona neden olmak ve kuruma büzülmesini arttırmak gibi sakıncaları olabilir.

Priz sürecini ve betonun dayanım kazanma gelişimini hızlandıran ve belli bir kıvamda beton üretmek için gerekli su miktarını azaltan özellikteki katkılar “su indirgeyici ve priz hızlandırıcı katkı maddeleri” olarak bilinir.

Yüksek mertebede su indirgeyici ve priz geciktiriciler: Bu katkı maddeleri daha yeni ve daha etkili olan ve “Süper plastikleştiriciler” olarak da bilinen su azaltıcı katkı maddeleridir. Süper plastikleştiriciler oldukça akışkan ancak işlenebilir, hiç veya çok az vibrasyonla sıkıştırılabilen ve aşırı su kuma ve ayrışma yapmayan “akıcı beton” üretmek için kullanılır. Bu tür beton “Kendiliğinden yerleşen beton” olarak bilinir.

Yaygın olarak kullanıldığı alanlar aşağıda verilmektedir:

- İnce ve dar kesitli yapı elemanlarına beton dökümünde.
- Donatının yoğun olduğu yerlerde beton dökümünde.
- Tremi betonu (sualtı betonu) uygulamalarında.
- Geleneksel sıkıştırma yöntemlerinin pratik olmadığı veya kullanılamadığı yerlerde.
- Pompa ile yüksek ve uzak mesafelere beton dökümünde kapasiteyi arttırmak.
- Maliyeti düşük beton dökümünde.

Bu tür katkı maddeleri geleneksel su indirgeyicilere kıyasla genellikle daha yüksek dozlarda kullanılır ve karışım suyunda %20 ila %30 oranında azalma sağlanabilmektedir. Bu katkı maddeleri maksimum akıcılık elde etmek için çimento tanelerinin tamamen dağılmasını sağlarken, geleneksel plastikleştiriciler bunu kısmen başarmaktadır.

Süper plastikleştiriciler kullanıldığında betonun çökmesi artar ancak çökme kaybı hızı azalmaz. Bunun önüne geçmek için bu katkıları betona betonun mikserden boşaltılmasından hemen önce ilave edilir. Diğer bir çözüm olarak, karışıma karışım sürecinin belli bir anında belirli bir miktar katkı maddesi ilavesi gerektiren retemperleme prosedürü uygulanır. Yüksek çökmeyi 2 saate kadar koruyabilen günümüzde yeni nesil kimyasal katkı maddeleri üretilmektedir.

Karışım suyunu ve su/bağlayıcı oranını azaltarak aşağıdaki özelliklere sahip betonlar üretmek mümkündür:

- Basınç dayanımı 100 MPa üzeri beton.
- Erken dayanımı yüksek beton.
- Düşük klorür iyonu geçirimli ve düşük su/bağlayıcı oranı ile bağlantılı diğer faydalı özellikleri olan beton. Bu tür betonların donma-çözülmesi ve buz eriticilerin neden olduğu yüzey soyulması geleneksel betonlarınkı ile benzerdir.

MINERAL KATKI MADDELERİ

Mineral katkı maddeleri ince öğütüldüklerinde hem çimento üretiminde hem beton üretiminde kullanılan puzolanik özellikli maddelerdir. Mineral katkı maddeleri hidrolik ya da puzolanik özellikleri veya her iki özellikleriyle betonun performansına katkı sağlarlar. Bu nedenle bu tür maddeler aynı zamanda “çimentomsu malzemeler” olarak da bilinir.

Mineral katkı maddeleri toz halinde kullanılırlar ve incelikleri en az çimento inceliğindedir. Kimyasal katkıların aksine, mineral katkı beton üretiminde oldukça yüksek miktarlarda kullanılırlar. Elde edildikleri kaynağa göre mineral katkı maddeleri aşağıdaki gibi üç gruba ayrılabilirler:

- Doğal malzemeler (volkanik küller, volkanik tüfler, traslar, diatomlu toprak, taşunu)
- Beton üretimi ile doğrudan ilgisi olmayan bir endüstri kolunda yan ürün olarak elde edilen malzemeler (uçucu küller, granüle yüksek fırın cürufu, silis dumanı)
- Isıl işlem uygulanmış olarak kullanılan malzemeler (pişirilmiş kil, pişirilmiş şeyl)

Mineral katkı maddeleri beton karışımına agrega, çimento ve suyun yanı sıra ayrı bir bileşen olarak katılabilirler. Bazı hallerde daha yüksek miktarlarda kullanılsalar bile, kullanım miktarları genellikle karışımda kullanılan çimento ağırlığının %10 ila %50 mertebesinde olup çoğu zaman bir kısım çimento yerine ikame edilmektedirler. Gerek görüldüğünde, karışımda kimyasal katkı maddesi de kullanılmaktadır.

Mineral katkı maddelerinin betonun özelliklerine ve performansına etkisi mineral katkıların yalnızca türüne, fiziksel ve kimyasal özelliklerine değil aynı zamanda kullanım miktarlarına da bağlıdır. Bu maddeler beton üretiminde genelde aşağıda sıralanan bir veya birden fazla amaç için kullanılabilir:

- i) Taze betonun işlenebilirliğini arttırmak.
- ii) Betonun bazı özelliklerini iyileştirmek. Örneğin,
 - su kumayı azaltmak ve ayrışmayı önlemek,
 - hidratasyon hızını ve açığa çıkan ısıyı azaltmak,
 - geçirimsizliği azaltmak,
 - donma-çözülme direncini arttırmak,
 - alkali-silika reaksiyonu nedeniyle meydana gelen genleşmeyi azaltmak,
 - sülfat dayanıklılığını arttırmak,
- iii) Betonun üretim maliyetini azaltarak daha ekonomik beton elde etmek.
- iv) Enerji tasarrufu ve ekolojik (çevre ile ilgili) yarar sağlamak.

Taşunu dışında beton üretiminde kullanılan mineral katkı maddelerinin tümü puzolanik özellikli malzemelerdir. Bazıları hem puzolanik hem hidrolik özelliğe sahiptir.

PUZOLANİK MALZEMELER

Puzolanlar kendi başına bağlayıcılık özelliği çok az olan veya hiç olmayan ancak çok ince öğütüldüklerinde nemli ortamda kalsiyum hidroksitle kimyasal reaksiyona girerek bağlayıcılık özelliği kazanabilen silisli ya da silisli ve alüminli malzemelerdir. Bileşimlerinde fazla miktarda bulunan silis ve alümin haricinde az miktarda demir oksit, kalsiyum oksit (CaO), alkaliler ve karbon bulunmaktadır.

Puzolanik Aktivite

İnce öğütülmüş puzolanlar çimentonun hidratasyon ürünlerinden Ca(OH)_2 ile sulu ortamda bir araya geldiklerinde normal sıcaklıkta bir kimyasal reaksiyon meydana gelir. Puzolanik reaksiyon olarak bilinen bu reaksiyonlar çimentonun hidratasyonunda olduğu gibi hidrolik bağlayıcılık özelliğine sahip kalsiyum-silika-hidrat (C-S-H) jeli oluşturur. Bu reaksiyon basitçe aşağıdaki gibi gösterilebilir:



Bu reaksiyon neticesinde çimentonun hidratasyonu sonucu meydana gelen (C-S-H) jeline ilave (C-S-H) jeli oluşmaktadır. Tobermorit olarak bilinen bu jelin bağlayıcılık özelliği dolayısıyla betonun dayanım gelişimine katkı sağlamaktadır. Puzolanların kalsiyum hidroksitle aralarında meydana gelen bu reaksiyon puzolanik aktivite deneyi ile belirlenmektedir. Puzolanik aktiflik aynı zamanda kalsiyum hidroksit ve alümina silikatlar arasında oluşan ve bağlayıcı özelliği olan hidratasyon ürünlerinin meydana geldiği reaksiyonun adıdır.

Beton üretiminde puzolanların kullanılabilmesi için yeterli seviyede puzolanik aktifliğe sahip olmaları gerekmektedir. Bunun için puzolanların öncelikle ince öğütülmesi, amorf yapıya sahip olması ve yeterli miktarda silis + alümin + demir oksit içermesi gerekmektedir.

Puzolanik aktivitenin belirlenmesi için birkaç yöntem önerilmektedir. Ancak bu yöntemler tam anlamıyla doğruluk vermemektedir. Bunun nedeni çimento içeren bir karışımın dayanımı yalnızca bağlayıcı özelliklerine bağlı olmamasıdır. Normal test yöntemleriyle belirlenemeyen birçok farklı etkene de bağlıdır.

Puzolanik Aktivitenin Ölçülmesi:

Bir puzolanın kimyasal olarak bağlayabileceği en fazla Ca(OH)_2 miktarı ve bu sürecin hızı “puzolanik aktivite” olarak ifade edilir. Puzolanik aktivite genel olarak kimyasal ve mekanik olmak üzere iki yöntemle ölçülür.

1. Kimyasal yöntem: Bu yöntemde,

- Puzolanik reaksiyon sonucu alkaliler veya asitler içerisinde çözünebilir toplam $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ miktarı ölçülür.
- Puzolan, doymuş kireç çözeltisinde konulur ve belirli bir süre içinde çözeltideki kalsiyum iyonlarının azalma miktarı tespit edilir.

2. Mekanik yöntem: Bu yöntemde, ilgili standart uyarınca hazırlanan çimento-puzolan karışımının basınç dayanımı ölçülerek kullanılan puzolanın puzolanik aktivitesi belirlenir.

Bunun için 1 kısım çimento + 3 kısım kum + ½ kısım su bileşiminde %100 çimento içeren kontrol karışım için belirlenen dayanım ile puzolan-çimento karışımı ile elde edilen dayanım karşılaştırılır. Puzolan kullanıldığında, %35 puzolan + %65 çimento olacak şekilde karışımlar hazırlanır.

Puzolanik aktivite, doğal puzolanlar ve uçucu küller için “Dayanım Aktivite İndisi, DAİ” şeklinde belirlenirken, granül yüksek fırın cürufu için “Cüruf Aktivite İndisi, CAİ” şeklinde aşağıdaki gibi hesaplanır. Bu indisler basitçe şu şekilde hesaplanır:

$$\text{Dayanım Aktivite İndisi, DAİ} = \frac{A}{B} \times 100$$

Burada, A puzolan kullanılarak üretilen harç küp numunelerin ortalama basınç dayanımı ve B kontrol harç küp numunelerin ortalama basınç dayanımıdır.

Dayanım aktivite indisinin belirli bir değerden küçük olmaması gerekmektedir. Örneğin, Türk standartlarına göre bu değer en az %70 olmalıdır.

Granül yüksek fırın cürufu için puzolanik aktivite benzer şekilde “Cüruf Aktivite İndisi, CAİ” değeri hesaplanır.

Puzolanlar doğal ve yapay puzolanlar olmak üzere genellikle iki sınıfa ayrılırlar.

DOĞAL PUZOLANLAR

Bunlar doğada bulunan silisli ve alüminli malzemeler olup ince öğütüldüklerinde Ca(OH)_2 ile sulu ortamda reaksiyona girerek bağlayıcılık özelliği gösteren malzemelerdir. Doğal puzolanlar aşağıdaki gibi iki gruba ayrılabilir:

- Volkanik kökenli doğal puzolanlar
- Isıl işlem görmüş killeri, şeyller ve diatomlu toprak

Doğal puzolanlar yoğunluklu olarak volkanik orijinlidir. Volkanik küller, volkanik tüfleri ve volkanik camlar volkanik olanlar; pişirilmiş kil, şeyl ve diatomlu toprak ısıtma işlemi görmüş olanlara örnek verilebilir. Isıtma işlemi puzolanik aktiviteyi arttırmak için uygulanır. İnce öğütüldüklerinde bu malzemelerin bağlayıcı olarak farklı kullanımları vardır.

Doğal puzolanlar genellikle Portland-puzolan tipi çimento üretiminde kullanılır. Bunun yanı sıra bunlar aynı zamanda beton üretiminde de sınırlı miktarda kullanılmaktadır.

YAPAY PUZOLANLAR

Yapay puzolanlar günümüzde mineral katkı maddesi olarak yoğun bir biçimde beton üretiminde doğrudan kullanılmaktadır. Bu amaç için kullanılan en yaygın yapay puzolanlar uçucu küller, granüle yüksek fırın cürufu ve silis dumanı gibi endüstriyel yan ürün malzemelerdir.

Uçucu Kül:

Uçucu kül, elektrik enerjisi üretilen termik santrallerde yakıt olarak kullanılan pülverize kömürün yanması sonucu oluşan çok ince atık küldür. Uçucu küller yüksek oranda SiO_2 , Al_2O_3 ve Fe_2O_3 içerirler. Türlerine bağlı olarak uçucu küller aynı zamanda çok az miktarda CaO , MgO , C (çok ince taneli yanmamış kömür) ve Na_2O içerirler. Uçucu kül taneleri genellikle küresel şekilli katı parçacıklar olup %60 ila %90 oranında amorf yapıdadır. Geri kalan bölümünde kuvars, mullit, magnetit ve hematit gibi kristaller bulunur.

CaO içeriği %10'dan az olan uçucu küller “düşük kireçli uçucu küller”, %10'dan fazla olanlar “yüksek kireçli uçucu küller” olarak bilinir. ASTM C 618 uçucu külleri kimyasal bileşimlerine göre F ve C olmak üzere iki sınıfa ayırır. Antrasit veya bitümlü kömürlerden elde edilen ve bileşimi $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 \geq \%70$ olan uçucu küller F sınıfı olarak bilinir. Linyit veya düşük bitümlü kömürlerden elde edilen ve bileşimi $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 \geq \%50$ olan C sınıfı olarak bilinir. F sınıfı uçucu küller yalnızca puzolanik özellik gösterir. C tipi uçucu külün puzolanik özelliği yanı sıra CaO içeriği %10'dan fazla olduğunda hidrolik özellik de göstermektedir.

Yüksek Fırın Cürufu:

Yüksek fırında demir üretilirken demir filizlerinin yanması sonucu eriyik haldeki demir pota dibine çökeler ve yine ergimiş halde ve daha hafif olan CaO, SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO, MnO ve S gibi yabancı maddeler dışarıya atılır. Bu dışarıya atılan maddelere topluca “yüksek fırın cürufu” denir. Dışarıya atılan eriyik haldeki cürufun sıcaklığı yaklaşık 1500°C dir.

Eriyik cüruf havada yavaş hızda soğutulması halinde elde edilen cüruf kristal yapıya sahip olur. Eriyik cüruf basınçlı su püskürtülerek çok hızlı soğutulduğunda, hem irili ufaklı kum taneleri boyutunda granül hale gelir hem de büyük oranda amorf (camsı) yapı kazanır.

Amorf yapıya sahip ve büyük miktarda SiO_2 ve Al_2O_3 içeren granül yüksek fırın cürufu çok ince öğütüldüğünde doğal puzolanlar ve uçucu küllere benzer şekilde puzolanik özellik gösterir. Ayrıca büyük miktarda CaO içerdiği için öğütülmüş granül yüksek fırın cürufu bağlayıcılık (hidrolik) özelliği de gösterir. Havada yavaş soğutulmuş cüruf kristal yapı kazandığı için puzolanik özellik göstermez.

Öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufu pratikte ince öğütülmüş doğal puzolanlar ve uçucu kül gibi kullanım alanı bulmaktadır.

Silis Dumanı:

Silis dumanı silikon metalinin veya silikonlu metal alaşımlarının üretimi esnasında açığa çıkan gazın hızlı soğutulmasıyla elde edilen ve en az %85 oranında silis içeren amorf yapıya sahip çok ince katı tanelerden oluşmaktadır. Silis dumanı “mikro silis” olarak da bilinmektedir.

Çok ince olduğundan, silis dumanının inceliğinin tayininde Blaine cihazı yerine nitrojen emme yöntemi kullanılmaktadır. Beton üretiminde kullanılan silis dumanının özgül yüzeyi genellikle 200 000 cm^2/g mertebesinde iken, Portland çimentosunun özgül yüzeyi ~3 000 cm^2/g mertebesindedir. Silis dumanının özgül yüzeyi çok büyük ve amorf yapıda olduğundan ve de yüksek miktarda SiO_2 içerdiğinden mükemmel bir puzolanik malzemedir. Diğer puzolanik malzemeler gibi sulu ortamda $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ile temas ettiği takdirde hidrolik bağlayıcılık özelliği göstermektedir.

Silis dumanı beton üretiminde yaygın olarak kullanılan bir yapay puzolandır. Silis dumanı genellikle beton karışımında kullanılan çimentonun ağırlıkça yaklaşık %10'u kadar ikame edilmektedir. Puzolanik özelliğinin fazla olması nedeniyle silis dumanı kullanmak suretiyle

hem erken yaşıta hem de ileri yaşlarda dayanımı yüksek beton üretmek mümkündür. Bu betonların aynı zamanda geçirimsizlikleri az olduğundan donatı korozyonunu önleme açısından da oldukça yarar sağlamaktadırlar.

Çok ince tanelerden oluşmuş olduğundan, silis dumanının kullanıldığı betonun kıvamı ve işlenebilirliği azalmakta ve karışım suyu gereksinimi artmaktadır. Bu bakımdan, yüksek dayanımlı beton üretmek için silis dumanı kullanıldığında ayrıca yüksek mertebede su indirgeyici kimyasal katkı maddesi de mutlaka kullanılmalıdır.

Mineral katkı maddelerinin beton özelliklerine olumlu etkileri yanı sıra potansiyel olarak bazı olumsuz etkileri de söz konusudur:

Potansiyel olumlu etkiler:

- İşlenebilirlik artar; özellikle uçucu kül kullanılması halinde.
- Yüksek dayanım elde edilir; özellikle silis dumanı kullanılması halinde.
- Su kuma ve ayrışma azalır.
- Hidratasyon ısısında azalma sağlanır.
- Sertleşmiş betonun geçirimsizliğinde belirgin azalma sağlanır.
- Betonun sülfat dayanıklılığı artar.
- Alkali-silika reaksiyonunu bastırılır.
- Ekonomi sağlanır.

Potansiyel zararlı etkiler:

- Erken yaşlarda dayanım kazanma hızı azalır.
- Betonun daha uzun süreyle daha dikkatli kür edilmesi gerekir.
- Prizde bir gecikme olabilir; soğuk havada sorun yaşanabilir.
- Belli miktarda hava sürüklemek için daha fazla hava sürükleyiciye gereksinim duyulur.
- İncelikleri fazla olduğundan, fazla miktarda karışım suyuna gereksinim duyulur.
- Plastik büzülme çatlakları artabilir; özellikle silis dumanı kullanıldığında.