

BETONUN PERFORMANSINA SAĞLADIKLARI ETKİNLİK AÇISINDAN KİMYASAL VE MİNERAL KATKI MADDELERİ

Şakir ERDOĞDU(*), Şirin KURBETCİ(**)

Beton; inşaat endüstrisinde yaygın bir biçimde kullanılan temel yapı malzemesi olma özelliğini sürdürmektedir. Bunun pek çok nedenleri arasında betonu oluşturan bileşenlerin kolayca ve ucuz temin edilebilir olması, betonun kolaylıkla istenilen formda üretilebilir olması, bakım ve onarım maliyetinin alternatif malzemelere göre daha ucuz gerçekleşmesi ve maruz kaldığı zararlı ortam şartlarında performansının yüksek olması sayılabilir. Bu hususlardan bir kısmı betona doğa tarafından bahşedilirken bir kısmı ise üreticileri tarafından kazandırılabilir. Beton, taze halde iken öncelikle kolay karıştırılabilir, kalıba kolay ve boşluksuz yerleştirilebilir, uniform olmalı, su kusmamalı, ayrışmamalı ve sıkılama ile mastarlama işlemleri sırasında fazla zaman ve enerji kaybına neden olmamalıdır. Özetle, taze beton “işlenebilir” olmalıdır. Sertleşmiş halde betonun dayanımı yüksek, dayanıklılığı yeterli ve fazla miktarda genleşme ve büzülme yapmayan özelliklere sahip olması gerekir. Sertleşmiş beton için öngörülen bu karakteristikler, büyük oranda taze betonun özellikleriyle sınırlıdır. İşlenebilir olmayan bir betondan yüksek dayanım ve yeterli dayanıklılık beklemek doğru değildir ve bu karakteristiklerden mahrum bir betonun hedeflenen düzeyde bir performansı sağlaması doğal olarak mümkün olmaz. Yüksek performans; dayanım, dayanıklılık ve hacimsel stabilite olmak üzere üç ayağa oturan ve betonun olmazsa olmaz en önemli karakteristiğidir. Bu karakteristiğin, betonun geleneksel bileşenleri vasıtasıyla sağlanması ve daha önemlisi sürdürülebilir kılınması ancak belli bir dereceye kadar mümkündür. Zira beton, günümüzde konsantrasyonu sürekli artan karbon dioksit, sülfürik asit ve klor gibi zararlı unsurların tehdidi altındadır. Böylesi zararlı çevresel ortam koşullarına maruz betonun performansının sürdürülebilir kılınması; uygun malzeme seçimi ve uygun oranlarda kullanılması; karıştırma, yerleştirme, sıkılama sırasında uygun yöntemlerin

entegrasyonu ve yeterli kürün tatbiki ile mümkün olabilir. Dayanımı yüksek ve aynı zamanda dayanıklı bir beton üretebilmenin yolu, beton ile uğraşanların öncelikle alışlagelmiş düşünce yapılarını güncelleştirmeleri ve devamında beton teknolojisinin gereklerini yerine getirmeleriyle mümkündür. Bu noktada, betonun geleneksel bileşenlerine ilave olarak katkı maddelerinin kullanımı gereği doğmaktadır.

Katkı Maddeleri

ASTM C 125 [1], katkı maddesini, betonun geleneksel bileşenleri olan su, çimento ve agregada dışında hemen karıştırma öncesi veya karıştırma sırasında beton harmanına ilave edilen maddeler olarak tanımlamaktadır. Bu maddeler organik ya da inorganik esaslı olup beton bileşimine ağırlıkça toplam bağlayıcının %5'ini aşmayacak oranlarda katılan maddelerdir. Genellikle sıvı halde olan bu maddeler literatürde “kimyasal katkı maddeleri” olarak bilinirler. ASTM C 219 [2]'da ise “mineral katkı maddeleri” tanımlanmaktadır. Bu maddeler çok ince öğütülmek suretiyle bazen çimento ile sınırlı oranda karıştırılarak bazen de üretim sırasında betona belli oranlarda ilave edilerek kullanılan çimentomsu, yani bağlayıcı özelliği olan maddelerdir.

Katkı maddelerinin betonda kullanımı genellikle taze ve sertleşmiş haldeki betonun bir ya da birden fazla özelliğini iyileştirme amacına yöneliktir. Katkı maddelerinin kullanımıyla taze beton özelliklerinde sağlanan iyileştirmeler;

- su miktarını arttırmaksızın işlenebilirliğini arttırmak,
- belli bir işlenebilirlik için su ihtiyacını azaltmak,
- priz süresini uzatmak ya da kısaltmak,
- su kusmayı önlemek,
- ayrışmayı azaltmak,
- pompalanabilirliği iyileştirmek,

(*) Doç. Dr., (**) Yrd. Doç. Dr.,
KTÜ, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Trabzon

- kıvam kaybı hızını azaltmak olarak sıralanabilir [3].

Katkı maddeleri kullanmak suretiyle sertleşmiş betonun özelliklerinde sağlanan iyileştirmeler de;

- hidratasyon ısınısını erken yaşlarda azaltmak ya da geciktirmek,
 - dayanım gelişimini erken yaşlarda hızlandırmak,
 - dayanımı arttırmak,
 - zararlı çevresel etkilere karşı dayanıklılığı arttırmak,
 - geçirimliliği azaltmak,
 - alkali-agrega reaksiyonunu kontrol etmek,
 - donatı-beton aderansını güçlendirmek,
 - betonun, dayanımı yanında, pek çok diğer mekanik özelliklerini iyileştirmek,
 - donatı korozyonunu bastırmak veya engellemek, ve
 - ekonomi temin etmek
- şeklinde özetlenebilir [3].

Bu sıralanan iyileştirmeler, beton bileşimi dizayn edilirken gerekli tedbirlerin alınması halinde katkı maddeleri kullanılmaksızın belli bir dereceye kadar sağlanabilir. Ancak özel bileşimleri sayesinde katkı maddeleri kullanıldığında benzer iyileştirmeleri daha düşük maliyette sağlamak mümkündür. Yani katkı maddelerini kullanmak suretiyle bir anlamda kalitenin maliyeti düşürülmüş olur. Ekonomi, bu bakımdan, betonda katkı maddesi kullanımını cazip kılan unsurlardan biridir. Gerek taze gerekse sertleşmiş betonun özelliklerini hedeflenen doğrultuda iyileştirmek, bir bakıma performans kriterini oluşturan yüksek dayanım, yeterli dayanıklılık ve hacimsel stabilite unsurlarını olabildiğince kontrol edilebilir kılmaktır. Bu amacı gerçekleştirmek için kullanılan kimyasal ve mineral katkı maddelerinin betonun özellikleri üzerindeki etkime mekanizmaları oldukça farklı olması nedeniyle ayrı başlıklar altında incelemede yarar vardır.

Kimyasal Katkı Maddeleri

Literatürde bileşimleri ve dolayısıyla işlevsellikleri birbirinden farklı çok sayıda kimyasal katkı maddesi vardır [4]. Burada sadece betonun performansı açısından işlevselliği olan su indirgeyici, yüksek mertebede su indirgeyici ve hava sürükleyici katkı maddeleri bahis konusu edilecektir. Gerek su indirgeyiciler gerekse yüksek mertebede su indirgeyiciler, su-bağlayıcı oranını düşürmek, suyu ve çimentoyu azaltmak veya su-bağlayıcı oranını değiştirmeksizin betonun işlenebilirliğini iyileştirmek için kullanılırlar. Bu kategoriye giren kimyasal katkıların

bir kısmı çimento tanelerince adsorbe edilerek ve suyun yüzey gerilimini etkileyerek çimento-su sistemini etkilemek suretiyle; bir kısmı ise, ilave edilmesinden itibaren birkaç dakikadan birkaç saatlik zaman dilimi içinde iyonsal ayrışma sağlamak suretiyle su ile çimento bileşenleri arasındaki kimyasal reaksiyonları etkileyerek etkinliklerini gösterirler. Bu kimyasal katkı maddeleri, esas itibarıyla bir ucu su çekici (hidrofil) diğer ucu su itici (hidrofob) özelliğinde uzun zincir biçiminde organik moleküler yapı gösteren maddelerdir. Su indirgeyicilerin ana bileşenleri linyosülfonatlar, hidroksikarboksilik asitler ve karbonhidratlar; yüksek mertebede su indirgeyicilerin ana bileşenleri sülfone melamin formaldehit ve sülfone naftalin formaldehit polikondansesi ile modifiye linyosülfonat polimerleri; hava sürükleyici katkı maddelerinin ana bileşenleri ağaç reçinesi, sülfone lignin, petrol asitleri ve proteinli maddelerin tuzları, sentetik deterjanlar, sülfone hidrokarbon tuzları ile yağ ve reçineli asit tuzlarıdır [5,6].

Suyun sahip olduğu yüksek yüzey gerilimi, çimento taneciklerinin pozitif ve negatif kısımları arasında meydana gelen çekim kuvvetlerinin etkisi sonucu oluşan topaklaşma isteğiyle birleşince az miktarda su kullanarak iyi ve homojen dağılıma sahip bir su-çimento sistemi elde etmek mümkün olmaz. Su indirgeyici kimyasal katkı maddelerinin kullanıldığı su-çimento sisteminde katkı maddelerinin çimento taneciklerince adsorbe olması sonucu hem suyun yüzey gerilimi azalır hem de çimento taneciklerinin hidrofob özellik kazanması sağlanır ve sonuçta iyi ve homojen dağılıma sahip bir su-çimento sistemi elde edilmiş olur. Hava sürükleyici kimyasal katkı maddeleri de benzer şekilde, bir taraftan suyun yüzey gerilimini azaltırken diğer taraftan sistemde hava kabarcıklarının meydana gelmesini sağlamakta ve aynı zamanda oluşan bu hava kabarcıklarının birleşme eğilimlerini engellemektedir. Sonuçta, hidrofob özellik kazanan çimento taneciklerinin yüzeyleri tarafından tutulmuş hava, su ile yer değiştirmek suretiyle kabarcıklar halinde çimento taneciklerinin yüzeylerine yapışır ve bu şekilde hava sürükleyicinin etkinliği ortaya çıkmış olur. Normal ve yüksek mertebede su indirgeyicilerin bir kısmı da genellikle betonda hava içeriğinin %1 oranında artmasına neden olabilmektedirler.

Su indirgeyici ve yüksek mertebede su indirgeyici sınıflaması betonun karma suyu miktarında sağlanan su kesme ile ilgilidir. Normal dozajlı betonlarda, su indirgeyiciler yaklaşık olarak %5-10 oranında su keserken; yüksek mertebede su indirgeyiciler ile kıvam kaybı olmaksızın %30 oranında su kesmek mümkündür [7]. Çimento miktarında ve su-çimento oranında herhangi bir değişikliğe neden olmaksızın karma suyunda sağlanan önemli miktarda azalma

dolayısıyla, su indirgeyiciler “akışkanlaştırıcı” olarak ve yüksek mertebede su indirgeyiciler de genellikle “süperakışkanlaştırıcı” olarak isimlendirilirler.

Çökmesi 19 cm'den fazla olan betonlar “akıcı betonlar” olarak bilinirler [7]. Bu betonlar, yeterli sıkıştırma sağlamak amacıyla vibrasyonun mümkün olmadığı dar kesitli ve/veya sık donatılı yapı elemanlarının dökümünde önemli avantaj sağlarlar. Geleneksel su indirgeyiciler vasıtasıyla yüksek çökmeli beton üretimi ancak ve ancak kum ve dozajı arttırmakla mümkün olabilir. Oysa, süperakışkanlaştırıcı katkı maddeleri sayesinde ayrışma ve su kumaya sebebiyet vermeksizin normal karışım oranlarına sahip daha yüksek çökmeli betonlar üretilebilir. Bu katkılar sayesinde beton teknolojisinde kendiliğinden düzeylenen beton dökümünden, tremi betonuna ve betonun hızlı bir biçimde pompalanmasına kadar önemli avantajlar sağlanabilir. Yerleştirme sırasında olası ayrışmayı engellemek amacıyla üretim öncesi mutlaka deneme betonları yapmak suretiyle titiz bir karışım dizaynı gerçekleştirilmelidir. Özellikle sıcak havalarda yüksek çökmeli betonlarla ilgili uygulamalarda karşılaşılan sorunların başında hızlı çökme kaybı gelmektedir. Kimyasal katkı maddesini hemen yerleştirme öncesi betona ilave etmek suretiyle bu sorunu bertaraf etmek mümkündür. Günümüzde artık salt bu sorunu gidermeye yönelik kimyasal katkı maddeleri üretilmekte ve giderek artan oranda kullanıma sunulmaktadır. Bu şekilde, katkı maddelerini kullanmak suretiyle şantiyede çökmeyi %50 oranında arttırmak mümkündür. Örneğin, şantiyede çökmesi 13 cm olan bir betonun çökmesi kolaylıkla 20 cm'ye çekilebilmektedir. Bu uygulama sayesinde betonu yerleştirmede karşılaşılan güçlük kolayca bertaraf edilebilmekte ve alışlagelmiş alışkanlık haline gelen su ilavesine gereksinim duyulmamaktadır. Haliyle, su ilavesinin neden olduğu dayanım kaybı da bu şekilde elimine edilmiş olmaktadır. Uygulamanın arzulanan verimlilikte gerçekleştirilebilmesi için katkı maddesi ilavesini takiben betonun transmiksör içinde en az 3 dakika süreyle yüksek devirde karıştırılması zorunludur.

Uygulamada, su indirgeyici ve yüksek mertebede su indirgeyici kimyasal katkı maddelerinin beton üretiminde kullanmanın akıcılığı arttırmak, dayanımı yükseltmek ve çimento tasarrufu sağlamak gibi üç temel yararı vardır. Gerçekten akıcı beton kalıba hem kolay hem iyi yerleşir. Kalıba iyi yerleşen beton daha az boşluk içereceği için dış ortamdaki zararlıların içine girişi zorlaşacak ve dolayısıyla betonun hizmet ömrü artacaktır; kısacası beton daha dayanıklı olacaktır. Diğer taraftan, betonun kalıba kolay yerleşmesi zamandan tasarruf anlamına geldiği için akıcı beton aynı zamanda ekonomik olmaktadır. Sabit çimento miktarı için, kalıba iyi yerleşen beto-

nun dayanımı artacağı için dayanıklılık ta olumlu yönde etkilenecektir. Bu şekilde, performans kriterinin ilk iki ayağı sağlanmış olur. Üretimde kullanılan çimento miktarı azaldığı oranda betonun hacimsel stabilitesi daha kolay sağlanacağı için performans kriterinin üçüncü ayağı da dolaylı olarak gerçekleşmiş olur. Bu noktada, çimento tasarrufu üzerinden sağlanan ekonomi de gözardı edilemez.

Genel olarak su indirgeyici kimyasal katkı maddelerinin çimento hamurunun reolojik özelliklerine etkileri hidrasyon reaksiyonlarının başlama süresiyle sınırlıdır. Zira, özellikle bol miktarda oluşan etrenjit başta olmak üzere, hidrasyon ürünleri sistemde cüzi miktarda bulunan katkı maddesinin etkisini kolaylıkla önlerler. Hidrasyon reaksiyonlarının gelişimine olan etkileri bakımından ortam sıcaklığı, çimentonun inceliği ve bileşimi, özellikle C_3A ve SO_3 içeriği, çimento-katkı maddesi etkileşimi üzerinde belirgin rol oynar. Beton bileşimine ilave edilen katkı maddesi miktarı ve konsantrasyonu da bu süreç üzerinde etkilidir. Gereğinden fazla miktarda kullanılması halinde su indirgeyiciler, hidrasyon ürünleri arasında oluşan bağ yapısını etkilemek suretiyle priz süresi üzerinde geciktirici etki yapabilirler. Böyle bir durum, özellikle kalıp alma süresinin kısa tutulması istenen uygulamalar için son derece sakıncalıdır. Bu bakımdan, etkinlik açısından uygun katkı maddesi türünün seçimi kadar miktarının belirlenmesi de önemlidir. Yüksek mertebede su indirgeyicilerin yapısı gereği geciktirici özellikleri yoktur ve bu nedenle su indirgeyicilere nazaran daha yüksek dozajlarda kullanılabilirler. Gerek su indirgeyici katkılar gerekse yüksek mertebede su indirgeyiciler için optimum değerler, projede kullanılan malzemelerle ön deneyler gerçekleştirmek suretiyle belirlenmelidir. Optimum etkinlik için çimento-katkı maddesi uyumunun belirlenmesi öncelikli koşuldur [8]. Bunun yanı sıra dozaj, su miktarı, agrega türü, biçimi ve granülometrisi, karıştırma süresi ile çökme ve ortam sıcaklığı gibi faktörler de gözardı edilmemelidir. Katkı maddesi ister kullanılsın ister kullanılsın, bu faktörler aynı zamanda iyi bir beton üretmede dikkat edilmesi gereken faktörlerdir. Yani, katkı maddesinin etkinliğinin olmazsa olmaz kuralı üretilen betonun her şeyden önce beton teknolojisinin gereklerine uygun bir biçimde üretilmiş olmasıdır. Aksi takdirde, kötü bir betona katkı maddesi ilave etmenin mühendislik açısından anlamı olmadığı gibi pratik olarak da yararı olmaz.

Şahit betona nazaran basınç dayanımında meydana gelen artış, özellikle yüksek mertebede su indirgeyicilerin kullanıldığı betonlarda sağlanan homojen yapı ve yüksek hidrasyon hızı nedeniyle erken yaşlarda daha da belirgin olmaktadır. Bu husus, hızlı kalıp rotasyonu için yüksek erken

dayanımın gerekli olduğu prefabrikasyon uygulamalarında son derece önemlidir. Çimento dozajını azaltmadan su-çimento oranı azaltılabildiği ölçüde hem erken yaşlarda dayanım gelişimi hızlanır hem de nihai dayanımda belirgin bir artış sağlanır. Basınç dayanımı üzerinde olduğu kadar belirgin olmasa bile su indirgeyici katkıları genellikle eğilme dayanımı üzerinde de artırıcı rol oynarlar.

İşlenebilirliği iyileştirmek gerekmeseyse bile donma-çözünme ve kimyasal buz eriticilerine maruz kalan tüm betonlarda hava sürükleyici katkı maddesi kullanılmalıdır. Bu şekilde, betonda birbiriyle bağlantısız ve çimento hamuru içerisinde homojen bir biçimde dağılmış çok küçük boyutta hava kabarcıklarının oluşması sağlanmış olur. Sürüklenen hava, hem donma-çözünme çevrimlerine maruz kalan betonun dayanıklılığını hem de buz eriticilerin neden olduğu yüzey pullanmasına karşı direnci önemli oranda artırır. Hava sürükleyici kullanmak suretiyle işlenebilirlikte sağlanan iyileştirmeye paralel olarak betonda ayrışma ve su kuma azalır; hatta elimine dahi edebilir. Karıştırma öncesi ya da sırasında beton bileşimine katılan hava sürükleyici miktarı, şantiye koşulları ile beton bileşenlerinde olabilecek değişimler dikkate alınarak ayarlanmalıdır. Yeterli donma-çözünme direnci sağlayacak şekilde ayarlanan hava sürükleyici miktarı herşeyden önce maksimum agrega boyutuna ve çevresel koşulların ağırlığına bağlıdır. Uygun granulometriye sahip betonlarda, maksimum agrega boyutu büyüdükçe betonun hamur fazı azalır ve dolayısıyla belli bir işlenebilirlik için gereksinim duyulan hava miktarı da azalır.

Karışım suyunun sabit tutulması halinde, sürüklenen hava betonun çökmesinde artış yaratır. Çimentomsu malzeme miktarı ve çökme sabit tutulduğunda hava sürükleyici, özellikle ince malzeme miktarı az beton karışımları için daha az miktarda su gereksinimi yaratır. Çökmeyi sabit tutmak koşuluyla, hava içeriğini değiştirirken betonda %1'lik hava artışı sağlamak için m³ başına yaklaşık olarak 3 kg su ilave etmek, %1'lik hava eksiltmek için de benzer şekilde yaklaşık olarak 3 kg su eksiltmek genel kural olarak kabul edilir. Bütün gösterilen özene rağmen, etkiyen değişkenler fazla olduğu için, belirli bir hava içeriğinin tekrarlı bir biçimde sağlanması çoğu zaman mümkün olmaz. Bu nedenle, uygulamada kesin bir değer yerine hava içeriği için çoğunlukla belli bir aralık tahmini yapılır.

Mineral Katkı Maddeleri

Çimento tasarrufu hiç şüphesiz ekonomik açıdan önemlidir. Ancak çimento miktarında yapılacak eksiltmenin önemli başka yansımaları vardır.

İşlenebilirlikten taviz vermeden çimento tasarrufu yapmak "bıçak sırtı" bir durumdur ve geleneksel düşünce anlayışı ile bunu gerçekleştirmek zordur. Çimentoda yapılacak körü körüne bir eksiltme sonuçta fiziksel olarak daha boşluklu bir beton yapısı doğurabilir. Hiç şüphesiz boşluklu bir beton, zararlı dış ortam koşullarına karşı korunmasızdır ve hem dayanım hem dayanıklılık bakımından yetersiz olur. Dolayısıyla, eksiltelen çimento, hacmi oranında bir malzeme ile mutlaka ikame edilmelidir. Doğal puzolanlar, uçucu küller, ince öğütülmüş yüksek fırın cürufu ile silis dumanı gibi mineral katkıları bu amacı gerçekleştirmek adına kullanılabilecek malzemelerdir. Mineral katkı maddelerinin beton üretiminde kullanımının ekonomik faydası yanı sıra ekolojik yararı da söz konusudur. Mühendislik kuralları çerçevesinde kullanıldıklarında sağlanan ekonomik ve ekolojik faydaya ek olarak işlenebilirliğe sağladıkları olumlu katkı nedeniyle betonun özellikle olumsuz çevresel koşullarda performansı üzerinde önemli iyileştirme sağlamak mümkün olur.

Doğal puzolanlar; silis ya da aluminosilis içerikli doğal malzemeler olup, ince öğütüldüklerinde nemli ortamda çimentonun hidratasyonu sonucu açığa çıkan kalsiyum hidroksit ile kimyasal olarak reaksiyona girerek çimento özelliğinde bileşikler oluştururlar. Volkanik esaslı camlar ve tüfler, traslar, bazı killeri ile şeyller ince öğütüldüklerinde doğal puzolanlara örnek olarak gösterilebilirler.

Uçucu kül; termik santrallerde kömürün yanması ile çok ince toz halinde elde edilen bir endüstriyel atık malzeme olup baca gazlarından elektrostatik tutucular vasıtasıyla yakalanır. ASTM C 618 [9], bileşimlerine ve elde edildikleri kömür tipine göre uçucu külleri C sınıfı ve F sınıfı diye iki sınıfa ayırır. C sınıfı uçucu küller içerdikleri yüksek oranda kalsiyum oksit (CaO) nedeniyle hem puzolanik hem çimentomsu karakter gösterirken, F sınıfı uçucu küllerin puzolanik özelliği çok zayıftır. Kimyasal bileşimleri ve sahip oldukları bileşikler itibarıyla uçucu kül ile çimento birbirine çok benzerler. Hızlı soğuma ile oluşan uçucu kül amorf (camsı) yapı gösterirken, daha yavaş soğuma sonucu oluşan çimento kristal yapı gösterir. İkisi arasındaki temel fark, içerdikleri bileşiklerin bağıl miktarları arasındaki farktır. Çimento, kireç (CaO) bakımından zengin iken uçucu kül zayıftır. Uçucu kül yüksek oranda reaktif silis içerirken, çimentoda bu oran düşüktür. Uçucu kül tanelerinin çapı 1 m ile 100 m arasında değişir [10]. Uçucu külün tane dağılımı, morfolojisi ve yüzey karakteristikleri betonun işlenebilirliği, su ihtiyacı ve dayanım gelişimi üzerindeki önemli etkinliği nedeniyle betonun performansı açısından dikkat çekici faktörlerdir.

Yüksek fırın cürufu; esas itibarıyla silis, kalsiyum

aluminosilis ve bazik esaslı bileşikler içeren ve yüksek fırınlarda demir üretimi sırasında ergimiş halde elde edilen bir atık üründür. Yüksek fırın cürufalarının kimyasal bileşimleri ve özellikleri elde edildikleri ürün tipine ve üretim yöntemine bağlı olarak farklılık gösterirler. İşlevsellikleri itibarıyla Tip G ve Tip H olmak üzere iki sınıfa ayrılırlar. Tip G cürufu; ergimiş yüksek fırın cürufunun hava veya az miktarda su ile soğutulmuş çok ince taneler haline getirilen camsı yapıda, puzolanik özelliği çok zayıf bir üründür. Tip H cürufu; sıvı haldeki yüksek fırın cürufunun su ile doyurularak ya da su ve hava ile birlikte söndürülerek ve çok ince toz halinde öğütülen puzolanik özelliği nispeten yüksek bir üründür. Tip H cürufunda camsı madde oranı daha yüksek olup çok hızlı soğutulması nedeniyle sahip olduğu düzensiz yapısı gereği daha reaktif ve bundan dolayı beton üretiminde kullanımları daha yaygındır. Kalsiyum içeriklerine ilave olarak, tane boyutu ve karakteristikleri ile camsı madde bileşimi ve oranı, yüksek fırın cürufalarının aktivitelerinde etkin olan temel faktörlerdir. Tane boyutu küçüldükçe, betonun erken dayanım gelişimine sağladıkları katkı artar. Tane boyutu 45 µm'den daha büyük olan cüruf taneciklerinin hidratasyonu zorlaştığı için betonun dayanım gelişimine katkı sağlamaları doğal olarak mümkün olmaz [10].

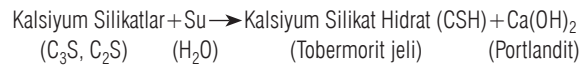
Son yıllarda beton üretiminde yaygın bir biçimde kullanılan başka bir mineral katkı maddesi silis dumanıdır. Silis dumanı, en az %75 oranında silisyum içeren silisyum veya ferrosilisyum alaşımlarının üretildiği tesislerin baca gazlarıyla taşınan çok ince bir endüstriyel atıktır. Baca gazlarından filtre edilerek tutulan ve amorf halde %85-95 oranında silis (SiO₂) içeren bu atık, çapı ortalama 0.1 µm olan küresel taneciklerden oluşur. Çimento taneciklerinin çapı ortalama olarak 10 µm olduğu düşünülürse, silis dumanının çimentodan 100 kez daha ince olduğu görülür [10]. Silis dumanının yüksek puzolanik özellik göstermesinin nedeni de budur.

Normal bir beton karışımı çimentonun hidratasyonu ile betonun taşınması ve yerleştirilmesi için gereksinim duyulan su miktarının iki katı kadar su ihtiva eder. Fazla su çökmeyi artırır, ancak kohezivite üzerinde azaltıcı etki yapar. Uçucu kül, yüksek fırın cürufu ve doğal puzolan içeren beton karışımları genellikle belli bir çökme için yalnızca çimento içeren betonlara kıyasla daha az karışım suyuna gereksinim duyarlar. Su miktarındaki bu azalma betonun kohezivitesini artırır ve ayrışmayı azaltır. Belli bir çökme için, mineral katkılar betonda daha fazla ince madde hacmi yarattığı ve su gereksinimini azalttığı için betonda genellikle su kuma da azalır [11]. Zira, beton bileşiminde azalan ince kumun yerine ikame edilen mineral katkı maddeleri

su kusmayı engelleyici katkı yapar. Ayrışma ve su kuma göstermeyen beton karışımlarının işlenebilirliği artar ve sonuçta yerleştirme, sıkılama ve mastarlama işlemleri için harcanan enerji azalır; dolayısıyla ekonomi sağlanmış olur. İşlenebilir, ayrışmayan ve su kusmayan betonların ekonomik olmaları yanı sıra, özellikle zararlı çevresel etkilere karşı dayanıklılıklarında da belirgin bir iyileşme söz konusu olur. Silis dumanı içeren beton karışımları, içermeyenlere kıyasla daima daha fazla karışım suyuna gereksinim duyarlar. Zira, silis dumanı çok ince olduğu için beton karışımlarının yapışma özelliği artar. Bu nedenle, işlenebilirliği korumak ve yeterli sıkıştırma sağlamak için karışım dizaynında bazı düzeltmelere gidilebilir. Örneğin, su indirgeyici katkı maddeleri, tercihen yüksek mertebede su indirgeyiciler, ve bazı hallerde hava sürükleyicilerin kullanımı bu nedenle zorunludur.

Mineral katkı maddesi kullanımına bağlı olarak betonun mekanik özelliklerinde sağlanan iyileşme öncelikle kullanılan mineral katkı maddesinin tipine, bileşimine, inceliğine ve miktarına bağlıdır. Bu karakteristikler dikkate alınarak ve uygun bir kimyasal katkı maddesi kullanılarak betonun dayanımını geleneksel olarak bilinen düzeyinden daha üst düzeylere çekmek suretiyle betonun performansını iyileştirmek mümkün olabilir. Mineral katkılarının betonun performansı üzerindeki etkiye mekanizması şu şekilde izah edilebilir:

Tobermorite ve portlandit çimentonun hidratasyonu sonucu oluşan temel ürünlerden iki tanesi olup hidrate olmuş çimento hamurunun sırasıyla yaklaşık olarak % 60 ve %20'sini oluştururlar. Kalsiyum silikat hidrat, betona bağlayıcılık ve dolayısıyla dayanım özelliği kazandıran ürün iken, kalsiyum hidroksitin dayanım gelişimine katkısı yoktur.



Ca(OH)₂, mineral katkı maddesi kullanıldığında, mineral katkı maddelerinin yapısında mevcut silisli ve alüminli bileşenlerle reaksiyona girerek çimentonun hidratasyonu sonucu oluşan kalsiyum silikat hidrat ürünlerine ilave olarak dayanıma katkı sağlayıcı ürünler oluşur. Bu şekilde, bir taraftan dayanım artarken, diğer taraftan meydana gelen ilave CSH jeli sayesinde betonda mevcut gözenek hacmi azalır ve geçirimsizlikte ciddi bir artış meydana gelir.

Mineral katkı maddesi ilave edilmiş beton karışımlarının dayanım gelişimi, yalnızca çimento ile üretilmiş betonlara nazaran yavaştır. Bu nedenle, bu betonlar için daha etkin ve daha uzun dönem kür uygulaması hem erken yaşlarda hem uzun dönem sonunda daha yüksek dayanım düzeyi sağlaması

bakımından önemlidir. Betonda meydana gelmesi muhtemel hacimsel hareketler, gerek kür işleminde takip edilen rejim gerekse çimento yerine ikame edilen mineral katkı maddesi nedeniyle sınırlı kalır ve çatlamlar minimum düzeye iner. Ayrıca bu uygulama sayesinde, azalan geçirimliliğe bağlı olarak sülfat direnci, donatı korozyonu, alkali-agrega reaksiyonu ve benzeri zararlı mekanizmaların operasyonu önemli derecede engellenmiş olur [12,13].

Sonuç

Önemli yapısal uygulamalarda gereksinim duyulan performans düzeyine geleneksel bileşenlerle üretilen beton karışımlarıyla erişmek mümkün değildir. Son yıllarda gerçekleştirilen pek çok araştırmada, soruna çözüm amacıyla çeşitli kimyasal ve mineral katkı maddelerinin rahatlıkla kullanılabileceğine dair telkinler söz konusudur. Özellikle zararlı çevresel koşulların hüküm sürdüğü ortamlarda bu maddeler bu anlamda önemli avantajlar sağlamaktadır. Kimyasal ve mineral katkılar sayesinde betonun sahip olduğu geleneksel fiziksel ve mekanik özelliklerinde iyileşme ve güçlenme sağlanmış olmakta ve bir bakıma yeterli performans garanti edilmiş olmaktadır. Gerek kimyasal gerekse mineral katkı maddelerinin betonun performansı üzerindeki etkinliği öncelikle üretilen betonun beton gibi üretilip üretilmemesine ve devamında kullanılan katkı maddesi kimyasal ise miktarına ve konsantrasyonuna; mineral ise tipine, bileşimine, inceliğine ve miktarına bağlıdır. Dolayısıyla, hedeflenen performans kriterine ulaşmak için bu maddelerin herşeyden önce teknik ve teknolojik özelliklerinin çok iyi bilinmesi gerekir. Üretim koşulları çok kontrollü olmadığı için mineral katkı maddelerinin kalitelerinde önemli sapmalar meydana gelmektedir ve sonuçta betonun özelliklerine yansımaları olumsuz olmaktadır. Gerçekten kalitesiz katkı maddeleri kullanmak suretiyle betondan yüksek performans beklemek aşırı iyimserlik olur. Unutmamak gerekir ki, baş ağrısına aspirinin sağladığı etkiyi, granulometrisi kötü çorba kıvamında bir betona katkı maddesinin sağlaması mümkün değildir ve betonu dizayn edenlerin, çözümü bu noktalarda yapılacak iyileştirmelerde aramamaları gerekir.

Sonuç olarak, kullanılan kalitesiz malzeme ve kötü dizaynın bedeli yüklenilmediği sürece, katkı maddelerinin betonun performansına kesinlikle olumlu etkisi vardır ve sağlanan etkinlik betonu üretenlerin teknik bilgi ve deneyimi ile orantılıdır. Burada önemli olan akılcı ve doğru çözüm üretebilmektir. Bunun için öncelikle yapılması gereken; şantiyede mevcut çimento, agrega ve mineral katkı ile uyumlu kimyasal katkı maddelerini beton teknolojisi süzgecinden geçirmek suretiyle performansı yüksek

beton üretmeyi vazgeçilmez hedef olarak belirlemek olmalıdır.

Kaynaklar

- [1] ASTM C 125 Standard Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates, Annual Book of ASTM Standards, 1994.
- [2] ASTM C 219 Standard Terminology Relating to Hydraulic Cement, Annual Book of ASTM Standards, 1993.
- [3] Erdoğan, Turhan Y., 1997, *Admixtures for Concrete*, Middle East Technical University, Ankara, Türkiye, pp. 36-52.
- [4] Akman, M. Süheyl, 1996, *Kimyasal Katkıların Betonda Uygulanması*, 4. Ulusal Beton Kongresi, TMMOB, İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi, pp. 1-11.
- [5] ASTM C 494 Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete, Annual Book of ASTM Standards, 1992.
- [6] ASTM C 260 Standard Specification for Air-Entraining Admixtures for Concrete, Annual Book of ASTM Standards, 1986.
- [7] ASTM C 1017 Standard Specification for Chemical Admixtures for Use in Producing Flowing Concrete, Annual Book of ASTM Standards, 1994.
- [8] Erdoğan, Ş., 2000, *Compatibility of Superplasticizers with Cements Different in Composition*, Cement and Concrete Research, Vol. 30, pp. 767-773.
- [9] ASTM C 618 Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Portland Cement Concrete, Annual Book of ASTM Standards, 1994.
- [10] Mehta, P. Kumar, 1986, *Concrete: Structure, Properties, and Materials*, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, USA, pp. 264-281.
- [11] Idorn, M. M., and Hendriksen, K.R., 1984, *State of the Art for Fly Ash Uses in Concrete*, Cement and Concrete Research, Vol. 14, pp. 463-470.
- [12] Torii, K., and Kawamura, M., 1994, *Effects of Fly Ash and Silica Fume on the Resistance of Mortar to Sulfuric Acid and Sulfate Attack*, Cement and Concrete Research, Vol. 24, pp. 361-370.
- [13] Shehata, M. H., and Thomas, M.D.A., 2000, *The Effect of Fly Ash Composition on the Expansion of Concrete due to Alkali-Silica Reaction*, Cement and Concrete Research, Vol. 30, pp. 1063-1072.