

2. Gün
13 Nisan 2007 • Cuma

I. Oturum

Oturum Bařkanı:
Prof. Dr. şakir ERDOĞDU

PORTLAND ÇİMENTOSU - SÜPERAKIŞKANLAŞTIRICI KATKI UYUMUNU ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Kambiz RAMYAR

Prof. Dr.

Ege Üniversitesi

Mühendislik Fakültesi

İnşaat Mühendisliği Bölümü

İzmir, Türkiye

ÖZET

Son 30 yılda beton teknolojisinde kaydedilen en önemli ilerlemelerden biri, süperakışkanlaştırıcı katkıların kullanılmasıdır. Günümüzde bu tip katkılar, beton endüstrisinin vazgeçilmez unsuru haline gelmiştir. Bu incelemede, süperakışkanlaştırıcı katkıların çimentonun kompozisyonu, inceliği ve içerdiği kalsiyum sülfat formuna bağlı olarak gösterdikleri performans tartışılmıştır. Bu bağlamda etkili olan katkının kökeni, moleküler ağırlığı, sülfonasyon ve polimerizasyon derecesi gibi katkı kaynaklı parametreler de incelenmiştir.

GİRİŞ

Katkılar, su, çimento, agrega ve liflerin dışında betona veya harca, karıştırma esnasında veya hemen öncesinde eklenen malzemedir. Günümüzde fiziksel, kimyasal ve biyolojik etkilere karşı dayanıklı, kaliteli ve yüksek performanslı beton üretimi, gerek kimyasal gerekse mineral katkıların kullanımı ile mümkün olmaktadır.

Katkılar, taze veya sertleşmiş betonun bir veya birden fazla özeliğini geliştirebilir. Katkılar, genel olarak aşağıdaki amaçlarla betonda kullanılır:

- Belirli bir uygulama için daha uygun beton üretmek,
- Ekonomik nedenler,
- Enerji veya doğal kaynaklarda tasarruf sağlamak gibi diğer amaçlar.

Katkıların betonda yaratacağı etki, a) çimento kompozisyonu ve inceliği gibi özellikleri; b) betonun çimento içeriği; c) agreganın gradasyonu, içerdiği safsızlıklar ve diğer özellikleri; d) betonun karışım oranları; e) betonda kullanılan diğer katkıları; f) karıştırıcının türü ve karışım süresi; g) katkının betona eklenme yöntemi; h) betonun sıcaklığı ve i) kür koşulları gibi çok sayıda faktöre bağlıdır [1].

Beton katkı maddeleri genel olarak dört ana sınıfa ayrılır: hava sürükleyici katkıları, kimyasal katkıları, mineral katkıları ve bunların dışındaki diğer katkıları. ASTM C494 [2] standardına göre, kimyasal katkıları; a) su azaltıcı, b) priz geciktirici, c) hızlandırıcı, d) su azaltıcı ve priz geciktirici, e) su azaltıcı ve hızlandırıcı, f) yüksek oranda su azaltıcı ve g) yüksek oranda su azaltıcı ve priz geciktirici olarak yedi sınıfa ayrılır.

Bu incelemede dikkate alınacak su azaltıcı katkıları, organik veya organik ve inorganik bileşenlerden oluşmakta ve betonda belli bir kıvam için gereken su miktarını azaltmak amacıyla kullanılmaktadır. Azalan su miktarına bağlı olarak bu katkıları, akışkanlaştırıcı veya süperakışkanlaştırıcı olarak adlandırılmaktadır. Normal dozajlarda, akışkanlaştırıcılar karışım suyu miktarını %5-11 arasında, süperakışkanlaştırıcılar ise %12 ve üzerinde azaltabilmektedir [2].

Yüksek performanslı beton üretiminde iki ana hedef, su/bağlayıcı oranını olabildiğince azaltmak ve betonu ayrışma ve boşluk olmadan kolayca yerine yerleştirmektir. Bu iki istek klasik beton teknolojisinde en önemli çelişkidir. Ancak süperakışkanlaştırıcıların bulunması ile bu çelişki ortadan kalkmıştır [3].

Süperakışkanlaştırıcıları diğer katkılardan ayıran en önemli özelliği çok fonksiyonlu iyileştirme sağlamasıdır. Sabit bir işlenebilme değerinde, süperakışkanlaştırıcının su azaltıcı olarak kullanılması durumunda, su/çimento oranının azalmasıyla kapiler boşluk ve geçirimsizlik azalır. Böylece dayanım ve dayanıklılıkta artış sağlanır [4]. Süperakışkanlaştırıcı katkı kullanarak, karışım su/çimento oranı sabit kalacak şekilde su ve çimento içeriği azaltılabilir. Böylece, karışımın dayanım ve işlenebilme özelliklerinde çimentonun azalmasıyla hidratasyon ısısı azalır. Katkının bu amaçla kullanımı, özellikle sıcak iklimlerde ve kütle beton uygulamalarında kolaylık sağlayabilir. Bu gibi uygulamada, karışımın azalan hamur hacminin yerini agrega alması sonucunda agrega/çimento oranı artar ve karışımın büzülmesi azalır. Kontrol karışımına, karışım oranlarına dokunmadan süperakışkanlaştırıcı eklenmesi durumunda ise dayanım ve durabilite özelliklerinde değişim olmadan, işlenebilmede artış gözlenir.

Süperakışkanlaştırıcı katkıları, kimyasal kökenlerine bağlı olarak dört ana sınıfa ayırılır [5]:

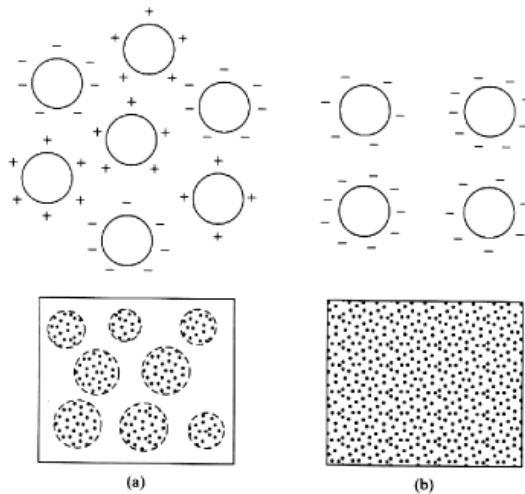
1. Polinaftalin sülfonatlar (sülfone naftalin formaldehit kondensesi-SNF)
2. Polimelamin sülfonatlar (sülfone melamin formaldehit kondensesi-SMF)
3. Modifiye lignosülfonatlar (MLS)
4. Poliakrilat ve polikarboksilatlar (PK).

SÜPERAKIŞKANLAŞTIRICILARIN ETKİ MEKANİZMASI

Süperakışkanlaştırıcı içeren çimento lu sistemde, çimento tanelerinin dağılıma özeliğı genel olarak “elektrostatik” ve “stearik” etki mekanizmasıyla açıklanır. Aşağıda bu iki etki mekanizması kısaca anlatılmıştır.

Elektrostatik Etki

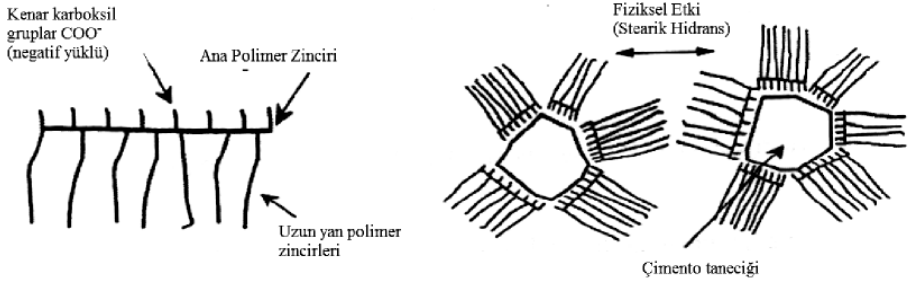
Süperakışkanlaştırıcı, çimento tanelerinin topaklaşmasını önler. Bu etkiyle çimento hamurunun akışkanlığı artar. Çimento tanelerinin topaklaşmasına neden olan çekim kuvvetleri, negatif yüklü SNF ve SMF gibi polimerlerin çimento tanesi üzerinde tutunması sonucu, nötr veya negatif yüklü hale gelmekte ve böylece dağıtma etkisi gerçekleşmektedir [4, 6]. Katkının etkisiyle katı-sıvı arayüzeyinde oluşan kuvvetler, karışımın kararlılığını etkiler. Askıdaki çimento tanesi benzer elektriksel yük taşır ve bunların arasında bir itme kuvveti oluşur. Bu elektriksel yükler yeterince fazla ise taneler birbirinden ayrı kalır ve topaklaşma oluşmaz. Şekil 1’de su azaltıcı katkıının çimento tanelerinin dağıtılmasında olan etkisi gösterilmiştir.



Şekil.1 Su azaltıcı katkıların dağıtma etkisi a) topaklaşmış hamur; b) katkılu hamur [6]

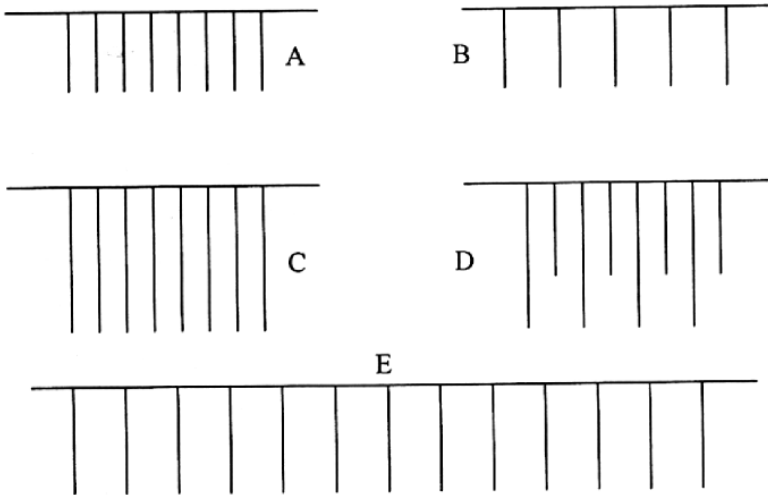
Stearik Etki

Polikarboksilat esaslı katkıların dağıtma etkisi elektrostatik itkiden çok, stearik (fiziksel-geometrisel) engelleme etkisi ile açıklanmaktadır. Şekil 2'de görüldüğü gibi, polimer molekülündeki yan zincirler çimento taneleri arasında fiziksel bir etki oluşturmakta ve topaklaşmayı önlemektedir.



Şekil.2 Katkılarının stearik etkisi [4]

Stearik itki, elektrostatik itkinin tersine, çimento kompozisyonundan kaynaklanan, boşluk çözeltisindeki iyon tipi ve yoğunluğundan çok daha az etkilenmektedir. Stearik itkide önemli rol oynayan parametreler ana zincir uzunluğu, yan zincirlerin uzunluğu ve yan zincirler arası mesafe olarak verilmektedir (Şekil 3).



Şekil.3 Polikarboksilat esaslı süperakışkanlaştırıcılara ait tipik moleküler yapı çeşitleri. Yan zincirler arasındaki mesafe farklılığı (A-B), yan zincir uzunluğu farklılığı (C-D), ana zincir uzunluğu farklılığı (A, B, C, D-E) [4].

ÇİMENTO-SÜPERAKIŞKANLAŞTIRICI KATKI UYUMUNU ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Beton kalitesini etkileyen çimento hamuru akışkanlığı, süperakışkanlaştırıcı katkı kullanılmasıyla artırılabilir. Ancak, süperakışkanlaştırıcı içeren özellikle düşük su/çimento oranına sahip betonların başlangıçtaki yüksek işlenebilirliği, kısa süre sonra kaybolabilmektedir. Bu durum süperakışkanlaştırıcı ve çimentonun reolojik olarak uyumsuz olduğunu gösterir [7]. Çimento ve süperakışkanlaştırıcı arasındaki uyum, özelliklerinden kaynaklanan çeşitli faktörlerden etkilenmektedir.

Çimento Kaynaklı Etkiler

Çimentonun kimyasal kompozisyonu, inceliği ve içerdiği sülfatların çözünürlüğü gibi faktörler, yüksek performanslı betonların reolojik özelliklerini etkileyen en önemli faktördür [8]. Bu faktörler ve bunların dışında uyumu etkileyen çimento kaynaklı diğer parametreler aşağıda özetlenmiştir.

Çimentonun Kimyasal Kompozisyonu

Portland çimentosundaki C_3A bileşeni, genel olarak kübik ve ortorombik kristal yapının karışımı olarak bulunmaktadır. Kübik yapı, ortorombik yapıya göre daha reaktiftir. Kübik yapıda olan C_3A , sülfat iyonları ile hızlı bir şekilde reaksiyona girer ve üzerinde oluşan etrenjit tabakası sonraki hidratasyon sürecini yavaşlatır. Böylece, çimento hidratasyonu durgunluk devresinde, çok fazla kıvam kaybı oluşmadan betonun taşınması ve yerleştirilmesi mümkün olur. Ortorombik yapıda olan C_3A ise kübik forma göre biraz daha yavaş tepkime gösterir ve sürekli devam eden iğne şekilli etrenjit oluşumuna neden olur [5]. Süperakışkanlaştırıcı varlığında, kübik C_3A yapının sülfat iyonlarıyla olan reaksiyonu daha kolay kontrol edilebilir. Genel olarak çimentonun C_3A içeriğinin az olması, süperakışkanlaştırıcı içeren sistemde istenen bir durumdur.

C_3A 'nın reaksiyonuyla oluşan iğne formundaki etrenjit, ortamdaki suyu tüketir ve hamurun işlenebilirliğini azaltır. Süperakışkanlaştırıcılar oluşan etrenjit formlarının üzerinde tutunarak bunların iğnemsiz yapıya dönüşmesini geciktirir [9]. Bazı araştırmacılara göre, süperakışkanlaştırıcı varlığında iğne şekilli etrenjit yerine, kübik forma yakın ve küçük boyutlarda etrenjit kristalleri oluşur [10]. Bu masif yapı, iğne şekilli yapıya göre akışkanlığa daha az zarar verir [11].

Süperakışkanlaştırıcının dağıtma etkisinin kararlı ve sürekli olabilmesi için asıl olarak C_3S ve C_2S bileşenleri üzerinde tutunması gerekmektedir [3].

Ancak $C_3A + C_4AF$ içeriği fazla olan çimentolarda, katkının bu bileşenlere tutunması nedeniyle, C_3S ve C_2S bileşenleri üzerinde tutunan göreceli miktarı, dolayısıyla, hamurun akışkanlığı azalır [12]. Çok sayıda araştırmaya rağmen süperakışkanlaştırıcı katkılar ve C_3A bileşeni arasındaki etkileşimi kontrol eden temel prensipler net olarak anlaşılmamıştır.

Süperakışkanlaştırıcı moleküllerinin hidrate olmamış çimento bileşenlerinin yanı sıra, hidrasyon ürünleri tarafından da tutulduğu bilinmektedir. Hidrasyon ürünleri üzerindeki bu tutunma, etrenjit gelişimini oldukça yavaşlatır, hatta durdurabilir. Karışımda mevcut olan süperakışkanlaştırıcı moleküllerinin tükenmesiyle birlikte etrenjit tekrar normal olarak gelişmeye devam eder [9].

Bazı araştırmacılar, süperakışkanlaştırıcı etkinliğinin çimentodaki $C_3A/CaSO_4$ oranına bağlı olduğunu, bu oranın artmasıyla akışkanlığın azaldığını bildirmiştir [13]. Bununla birlikte akışkanlık azalmasının, C_3A içeriğinden ziyade, boşluk çözeltisinin yapısıyla ilgili olduğunu belirten araştırmalar da mevcuttur. Çökme kaybının C_3S bileşeni hidrasyonu ile ilişkisi olduğunu, bu durumun iğne formundaki etrenjit oluşumu ile ilişkisi olmadığını vurgulayan araştırmalara da rastlanmaktadır [14].

SNF kullanarak yapılan deneylerde, çimentodaki C_3S/C_2S ve C_3A/C_4AF oranı arttıkça karışımın viskozitesinin arttığı rapor edilmiştir [15, 16].

Çimentonun İnceliği

Süperakışkanlaştırıcı katkı içeren çimento hamurunun viskozitesi çimento inceliğine de bağlıdır. Çimento inceliği arttıkça karışımın viskozitesi artar. Yapılan çalışmalar, 11 μm 'den küçük tane boyutuyla viskozite arasında doğrusal bir ilişki olduğunu göstermiştir [16, 17]. Aynı işlenebilmeyi sağlamak için çimentonun inceliğine bağlı olarak daha fazla süperakışkanlaştırıcı kullanılması gerekmektedir [11, 18]. Bununla birlikte inceliğin reolojik özellikler üzerindeki etkisinin her zaman aynı olmadığı da vurgulanmıştır. Çimento inceliğinin hidrasyon hızını arttırdığı bilinmektedir. Buna rağmen, çimento iyi bir tane dağılımına sahipse akışkanlıkta artış meydana gelebilir. Bu durum, boşlukların azalmasıyla su ihtiyacının azalmasına bağlanmıştır [19]. Göreceli olarak düşük C_3A içeriğine ve düşük inceliğe sahip çimentoların daha iyi akışkanlık özeliği gösterdiği bildirilmiştir [20]. Çimento taneleri şeklinin de akışkanlık üzerinde etkili olduğu bilinmektedir. Göreceli olarak daha küresel tanelerden oluşan çimentonun daha düşük yüzey alanına sahip olmasından dolayı daha az katkı gereksinimi olduğu belirtilmiştir [21].

Kalsiyum Sülfat Miktarı ve Formu

Üretim esnasında priz dengeleyici olarak çimentoya eklenen kalsiyum sülfatın tipi (alçıtaşı, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, hemihidrat $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ veya anhidrit CaSO_4) karışımın viskozitesini etkilemektedir. Hemihidrat ve çözünebilir anhidritin çözünürlüğü alçıtaşına göre yaklaşık üç kat daha fazladır. Bunların çimentodaki miktarının değişimi kimyasal reaksiyonları ve buna bağlı olarak işlenebilmeyi etkilemektedir. Bu değişimler, aynı zamanda akışkanlaştırıcı ve çimento arasında uyumsuzluğa sebep olmakta, yalancı veya ani prize yol açabilmektedir [22]. Karışımın reolojik özelliklerini kontrol edebilmek için bazı durumlarda alçıtaşının hemihidrata dönüşmesi elverişli olabilir. Hemihidratın çözünme hızı fazla olduğundan hidrasyonun ilk evrelerinde etrenjit oluşumu hızlanır, buna karşın, C_3AH_6 oluşumu yavaşlar. Genel olarak, alçıtaşının %40-50 oranında hemihidrata dönüşmesi optimum olarak kabul edilmektedir [5].

Düşük su/çimento oranına sahip süperakışkanlaştırıcı katkılı çimento hamurlarında, çimento-katkı uyumsuzluğunun çimentodaki kalsiyum sülfat yetersizliğinden kaynaklandığı ileri sürülmüştür [7]. Hamurda yeterli miktarda kalsiyum sülfat bulunduğu C_3A ve C_4AF bileşenlerinin yüzeyinde tutunan katkı miktarının azaldığı, bunun sonucunda çimentodaki silikat fazlarının daha iyi dağıldığı ve akışkanlığın arttığı belirtilmiştir [16]. Temel olarak sülfatların reoloji üzerindeki etkisinin sistemdeki toplam SO_3 miktarından ziyade SO_4^{2-} iyonlarının çözünme oranına bağlı olduğu açıklanmıştır [11].

Süperakışkanlaştırıcılar, çimento tanelerini dağıtma etkisi yanında hidrasyon kinetiğini ve alçıtaşının çözünebilirliğini de değiştirmektedir [8].

Genelde, SFN esaslı katkının çimento tanelerini dağıtma performansının hidrate tanelerin birim yüzey alanında tutunmuş olan katkı miktarına bağlı olduğu vurgulanmıştır. Hidrasyon ürünleri miktarını ve çözeltideki SO_4^{2-} iyonu konsantrasyonunu etkileyen çimento özelliklerinin katkının performansını belirleyen önemli unsurlar olduğu belirtilmiştir. Hemihidrat içeren çimento hamurunda, karıştırma işleminden hemen sonra SO_4^{2-} konsantrasyonunun yüksek olduğu fakat bir süre sonra hızlı bir şekilde azaldığı görülmüştür. Karıştırma işleminden hemen sonraki SO_4^{2-} konsantrasyonunun yüksek olmasından çimento taneleri üzerinde tutunan SNF miktarı sınırlı kalmaktadır. Bu durumda akışkanlık kaybı azalmaktadır. Dolayısıyla alçıtaşıyla kıyasla hemihidrat içeren çimentonun kullanımı akışkanlık kaybının daha az olmasına yol açabilir [23].

Diğer bir araştırmada hemihidrat formundaki sülfatların çok daha kolay çözünebildiği için, süperakışkanlaştırıcı varlığında daha fazla etrenjit oluşacağı belirtilmiştir. Buna ilaveten, katkının dağıtma etkisi ile çimento sistemindeki etkileşim yüzeyinin artmasından toplam reaktivite artmaktadır. Sonuçta, artan etrenjit oluşumu tane betonun eşik kayma gerilmesi değerini arttırmaktadır [22].

Ondört farklı çimento ve üç farklı kökenden süperakışkanlaştırıcı kullanılarak hazırlanan hamurlar üzerinde yapılan bir çalışmada, sülfat morfolojisinin (alçıtaşı, hemihidrat ve anhidritin bağıl miktarlarının) işlenebilme üzerinde fazla etkili olmadığı, çimento özgül yüzey alanının etkisinin ise daha önemli olduğu gösterilmiştir. Hemihidratın süperakışkanlaştırıcı içermeyen hamurlarda önemli olduğu vurgulanmıştır. Araştırmada, literatürde verilen bilgilere paralel olarak, alüminat fazının oldukça etkili olduğu ve genel olarak, çimento alümin içeriğinin azalması ile işlenebilirliğin arttığı belirtilmiştir [24].

Çimentonun Alkali İçeriği

Süperakışkanlaştırıcı katkı içermeyen karışımlarda yüksek oranda alkali içeren çimentoların genellikle daha kötü reolojik davranış gösterdiği bilinmektedir [25]. Benzer şekilde süperakışkanlaştırıcı içeren karışımların işlenebilirliğinin de çimentonun azalan alkali içeriği ile arttığı bildirilmiştir [7, 26, 27]. Araştırmacılar, boşluk çözeltisindeki alkali içeriğinin artması ile C_3A 'nın çözünebilirliğinin, dolayısıyla etrenjit oluşumunun arttığını belirtmiştir.

Lignosülfonatların geciktirici etkisinin çimentonun alkali içeriğine bağlı olduğu, yüksek C_3A ve yüksek alkali içeren çimentolarda bu katkıların su azaltma etkilerinin daha az olduğu vurgulanmıştır [28].

Süperakışkanlaştırıcı katkı içeren çimento hamurlarının akışkanlığını ve akışkanlık kaybını kontrol eden ana parametrenin ilk zamanlarda boşluk çözeltisine geçen çözünebilen alkali miktarı olduğu bildirilmiştir. Başlangıç akışkanlığını artırma ve zamanla akışkanlık kaybını azaltma bakımından, optimum çözünebilen alkali içeriğinin süperakışkanlaştırıcı dozajı ve çimento tipinden bağımsız olarak $\%0.4-0.5 Na_2O_{eşdeğer}$ olduğu bulunmuştur. Ayrıca, optimum miktarda çözünebilen alkali içeren çimentolarda, C_3A içeriğinin akışkanlık kaybı üzerinde kayda değer etkisi olmadığı görülmüştür [7].

Bazı araştırmacılar, düşük kalkerli çimento ve SNF esaslı süperakışkanlaştırıcı içeren karışımların reolojik özelliklerinin karışıma bir miktar alkali sülfat

ilave edilerek geliştirilebildiğini söylemiştir [29]. Alkali sülfat tarafından hızla ortama salıverilen SO_4^{2-} , hızlı bir şekilde C_3A ve C_4AF üzerinde tutunduğu bildirilmiştir [5]. Bu durumda, katkının çimento bileşenleri üzerinde tutunma oranı azalmakta ve karışımın akışkanlığı artmaktadır [12].

Öğütmeyi Kolaylaştırıcı Katkılarının Etkisi

Çimento üretiminde öğütmeyi kolaylaştırmak amacıyla klinkere katılan katkılar, süperakışkanlaştırıcı katkıların çimentoya tutunma özeliğini dolayısıyla işlenebilmeyi değiştirmektedir [30]. Öğütmeyi kolaylaştırıcı olarak kullanılan trietanol amin asetat katkının, hamurun eşik kayma gerilmesini %25 mertebesinde azalttığı belirtilmiştir [31].

Süperakışkanlaştırıcı Kaynaklı Etkiler

Katkı üreticisi tarafından verilen, katkı madde oranı, yoğunluk, pH, sülfat ve klorür içeriği gibi özellikler, ürünün performansı hakkında kayda değer bilgi vermez [11]. Süperakışkanlaştırıcının etkinliğini belirleyen en önemli özellikleri bağlı sülfonat grubunun pozisyonu, polimer zincirinin uzunluğu ve bunların çapraz bağlanmaları, artık sülfat miktarı ve nötrleştirme işleminde kullanılan karşıt (counter) iyon tipidir [8].

Katkı Kökeni, Moleküler Ağırlık, Sülfonasyon ve Polimerizasyon Derecesi Etkisi

Süperakışkanlaştırıcılar kökenleri dolayısıyla birbirinden farklı olabilecekleri gibi aynı kökenden olan katkılar da, moleküler ağırlık ve kimyasal kompozisyonlarındaki değişkenlikten, farklılık gösterebilir. Süperakışkanlaştırıcılar ile ilgili yapılan deneysel çalışmaların sonucunu yorumlamadaki en büyük sorunun katkıların kimyasal yapıları ve özellikle de moleküler ağırlıklarının bilinmemesidir [12].

Katkı viskozitesinin genel olarak moleküler ağırlığı hakkında fikir verdiği; moleküler ağırlığının ise katkı performansını etkileyen önemli bir parametre olduğu belirtilmiştir [11]. MLS esaslı katkının ortalama molekül ağırlığının yaklaşık 20000-30000 [28], SMF ve SNF esaslıları ise yaklaşık olarak 30000'dir [16, 32]. Katkının molekül ağırlığının artmasıyla akışkanlığın arttığı, ancak bir noktadan sonra, moleküler ağırlığının artmasının viskozitede artışa yol açtığı söylenmiştir [33]. Çok yüksek moleküler ağırlığına sahip katkıdaki uzun polimer zincirinin çimento tanelerine tutunarak topaklaşmaya yol açabileceği açıklanmıştır [34]. Belirli bir su/çimento oranına sahip polikarboksilat esaslı katkı içeren karışımın, en iyi akışkanlığı için optimum bir moleküler ağırlığı

değerinden söz edilmiştir. Su/çimento oranının azalmasıyla moleküler ağırlığı az olan katkıların daha fazla akışkanlık sağladığı vurgulanmıştır [34, 35]. Katkının sülfonasyon derecesinin göreceli olarak moleküler ağırlığından daha fazla işlenebilirliği etkilediği belirtilmiştir [36].

Katkının polimerizasyon derecesinin, karışımın dayanım gelişmesine olan etkisinin polimerin tipine bağlı olarak değiştiği, ayrıca, düşük moleküler ağırlıklı polimerin çimento tanelerini dağıtmada daha etkili olduğu açıklanmıştır [16, 37].

Asidik sülfonat grubunun (HSO_3), naftalin molekülüne bağlanma pozisyonu katkının verimini etkilemektedir [5].

Karşıt İyon Kökeni Etkisi

Üretim esnasında nötrleştirme amacıyla kullanılan baz, katkının performansını etkilemektedir. SNF esaslı katkılarda, karşıt iyon olarak sodyumun kullanılması (Na-SNF) magnezyum (Mg-SNF) ve kalsiyuma (Ca-SNF) göre daha iyi reolojik özelliklere yol açmıştır [34]. Polikarboksilat esaslı katkıların üretiminde ise sodyum ya da magnezyum kullanımı katkı performansında etkili olmamıştır [31].

Süperakışkanlaştırıcının Çimento Üzerinde Tutunması

Süperakışkanlaştırıcının etkinliği, katkının çözeltideki konsantrasyonuna bağlıdır. Hidratasyonun ilk aşamalarında, hızla çimento taneleri ve hidratasyon ürünlerine tutunmasıyla katkının konsantrasyonu önemli ölçüde azalabilir [16]. Negatif yüklü süperakışkanlaştırıcı polimeri, çimento bileşenleri üzerine tutunur. Ancak, C_3S 'e göre daha az negatifliğe sahip C_3A üzerindeki tutunma oranı daha fazladır. Bu etki SNF ve SMF esaslı katkılarda daha çarpıcıdır [17, 34]. Başka bir çalışmada [38], C_3A ve C_4AF bileşenleri üzerinde C_3S ve C_2S bileşenlerine göre daha fazla katkı tutunduğu, bunun tüm süperakışkanlaştırıcılar için geçerli olduğu vurgulanmıştır.

Süperakışkanlaştırıcı molekülleri, sadece hidrate olmamış çimento bileşenleri üzerinde değil, aynı zamanda oluşan hidratasyon ürünleri üzerinde de tutunur. Bu durumda, iğne şeklindeki etrenjit kristallerinin oluşumundan ziyade büyüklü küçüklü etrenjit kümeleri oluşur. Sistemdeki süperakışkanlaştırıcı tükendiğinde, olağan iğne formundaki etrenjit oluşumu tekrar başlar [9]. Katkı molekülleri, etrenjitin yanında C_3A 'nın diğer hidrate fazları (hegzagonal C_2AH_8 ve C_4AH_{13}) üzerinde de tutunmaya eğilimlidir. Ancak, hegzagonal yapı üzerindeki tutunma hızı C_3A üzerindeki göre çok düşüktür [16].

Katkının çimento tanelerine tutunma özeliği, çimentonun alkali içeriğinden önemli ölçüde etkilenir. Çimentodaki alkalilerin, suda çözünebilen olması veya ana bileşenlere bağılı olması farklı etkiler yaratabilir [16, 39].

Son yıllarda yapılan çalışmalarda, katkının hidrasyon ürünleri üzerinde tutunması durumunda dağıtma işleminin gerçekleştiği, çimento bileşenleri tarafından emilen katkının ise, dağıtma yeteneğine sahip olmadığını bildirilmiştir [23].

Süperakışkanlaştırıcının Karışıma Eklenme Zamanı

Katkının, karışım suyundan birkaç dakika sonra betona ilave edilmesi, çimento tanelerini dağıtma yeteneğini artırır. Bu süre içinde çimentonun reaktif bileşenleri üzerini ince bir hidrat tabakası kaplar. Böylece, süperakışkanlaştırıcı moleküllerinin reaktif bileşenler tarafından tutunma oranı azalır. Ortamda kalan katkı molekülleri, C_3S ve C_2S üzerine tutunarak bu bileşenlerin etkili bir şekilde dağılmasını sağlar [16].

Süperakışkanlaştırıcının en uygun ekleme zamanının su ve çimentonun temasından 10-15 dakika sonra olduğu, bu sürenin çimento ve katkı tipinden bağımsız olduğu belirtilmiştir [40]. Katkının karışım suyu ile beraber eklenmesi durumunda C_3S üzerinde tutunan katkı tabakası kalınlığının 50 nm, C_3A ve C_4AF üzerindeki tabakanın ise 300 nm civarında olduğu söylenmiştir. Katkının gecikmeli eklenmesi durumunda tüm fazlar üzerindeki kalınlığı yaklaşık 20 nm değerine düştüğü görülmüştür [19]. Katkının gecikmeli olarak eklenmesi, çökme kaybı miktarını ve oluşma zamanını da etkileyebileceği bilinmektedir [41].

Sıcaklık Etkisi

Genel olarak sıcaklığın artması, karışımın akışkanlığını azaltır ve çökme kaybını artırır. Bu durum her zaman geçerli olmayabilir. Sıcaklık artışı, süperakışkanlaştırıcı katkının tutunma oranını arttırdığından akışkanlıkta artma sağlayabilir [42]. Fakat sıcaklığın artışıyla tutunma oranının artmasının tutarlı bir sonuç olmadığı diğer araştırmacılar tarafından belirtilmiştir [19, 43].

SONUÇ

Süperakışkanlaştırıcı katkının betondaki performansı başta çimento kompozisyonu olmak üzere çimento inceliği, diğer mineral ve kimyasal katkıların varlığı ve özeliği, katkının eklenme zamanı, katkının moleküler

ağırlığı, sülfonasyon ve polimerizasyon derecesi ve hava sıcaklığı gibi çok sayıda parametreden etkilenmektedir. Çok karmaşık olan bu etkileşimin, mekanizması tam olarak anlaşılmamıştır. Katkının performansı ve diğer beton bileşenleriyle uyumu laboratuvar deneyleriyle önceden belirtilmelidir.

KAYNAKLAR

1. Erdoğan, T.Y., *Admixtures for Concrete*, Middle East Technical University Press, 1997, 188 p
2. ASTM, Standard Specifications for Chemical Admixtures for Concrete (ASTM C494-C494M-99), 2002 Annual Book of ASTM Standards, Vol. 04-02, Concrete and Aggregates.
3. Akman, S., "Role of Admixtures on the Properties of Fresh High Performance Concrete, RILEM Symposium, Mexico, 1999.
4. Collepardi, M., "Admixtures-Enhancing Concrete Performance", 6th Int. Congress on Global Construction and Ultimate Concrete Opportunities, Dundee, 2005.
5. Aitcin, P.C., *High Performance Concrete*, E.&F.N. SPON, New York, 2004.
6. Mindess, S., Young, J.F., Darwin, D., *Concrete*, Prentice-Hall, Pearson Education Inc., Second Edition, 2003, 644 p.
7. Jiang, S., Kim, B.G, Aitcin, P.C., "Importance of Adequate Soluble Alkali Content to Ensure Cement/Superplasticizer Compatibility", *Cement and Concrete Research*, Vol. 29, 1999, pp. 71-78.
8. Tangit-Hamou, A., Aitcin, P.C., "Cement and Superplasticizer Compatibility", *World Cement*, May 1993, pp 38-42.
9. Prince, W., Edward-Lajnet, M., Aitcin, P.C., "Interaction Between Ettringite and a Polynaphthalene Sulfonate Superplasticizer in a Cementitious Paste", *Cement and Concrete Research*, Vol.32, 2002, pp 79-85.
10. Prince, W., Eapagne, M., Aitchin, P.C., "Ettringite Formation: A critical Step in Cement- Superplasticizer Compatibility" *Cement and Concrete Research*, Vol. 33, 2003, pp. 635-641.
11. Aitcin, P.C., Jolicoeur, C., MacGregor, G.J., "Superplasticizers: How They Work and Why They Occasionally Don't", *Concrete International*, May 1994, pp. 21-26.
12. Chandra, S., Björnström, J., "Influence of Cement and Superplasticizer Type and Dosage on the Fluidity of Cement Mortars-Part I", *Cement and Concrete Research*, Vol.32, 2002, pp. 1605-1611

13. Boragafio, J.R., Macias, A., "Rheological Properties of Cement Mixes Containing Different Organic Dispersants", 9th Int. Congress on the Chemistry of Cement, New Delhi, Vol. IV, 1992, pp. 557-563.
14. Chandra, S., Björnström, J., "Influence of Superplasticizer Type and Dosage on the Slump Loss of Portland Cement Mortars- Part II", Cement and Concrete Research, Vol.32, 2002, pp 1613-1619.
15. Asakura, E., Yoshida, H., Nakae, H., "Influence of Superplasticizer on Fluidity of Fresh Cement Paste with Different Clinker Phase Composition", 9th Int. Congress on the Chemistry of Cement, New Delhi, Vol. IV, 1992, pp. 570-576.
16. Ramachandran, V.S., Concrete Admixtures Handbook, Noyes Publications, New Jersey, 1995, 1158 p.
17. Nawa, T., Eguchi, H., "Effect of Cement Characteristics on the Fluidity of Cement Pastes Containing an Organic Admixture", 9th Int. Congress on the Chemistry of Cement, New Delhi, Vol. IV, 1992, pp. 597-603.
18. Hanna, E., Luke, K., Perraton, D., Aïtcin, P.C., "Rheological Behavior of Portland Cement in the Presence of Superplasticizer", ACI SP-119, 1989, pp.171-188.
19. Griesser, A., Cement-Superplasticizer Interactions at Ambient Temperatures, PhD Thesis, Swiss Federal Institute of Technology, Zurich, 2002
20. Bonen, D., Sarkar, S.L., "The Superplasticizer Adsorption Capacity of Cement Pastes, Pore Solution Composition and Parameters Affecting Flow Loss", Cement and Concrete Research, Vol. 25, 1995, pp. 1423-1434.
21. Tanaka, I., Suzuki, N., Ono, Y., Koishi, M., "Fluidity of Spherical Cement and Mechanism for Creating High Fluidity", Cement and Concrete Research, Vol.28, 1998, pp. 63-74.
22. Mork, H.J., Gjoerv, E.O., "Effect of Gypsum-Hemihydrate Ratio in Cement on Rheological Properties of Fresh Concrete", ACI Materials Journal, 1997, pp. 142-146.
23. Nakajima, Y., Yamata, K., "The Effect of the Kind of Calcium Sulfate in Cements on the Dispersing Ability of Poly $\square$ - Naphthalene Sulfonate Condensate Superplasticizer", Cement and Concrete Research, Vol.34, 2004, pp. 839-844.
24. Claisse, P.A., Lorimer, P., Al Omari, M., "Workability of Cement Pastes" ACI Materials Journal, Vol. 98, 2001, pp. 476-482.

25. Jawed, I., Skalny, J., "Alkalies in Cement: A Review II. Effects of Alkalies on Hydration and Performance of Portland Cement", Cement and Concrete Research, Vol. 8, 1978, pp. 37-51.
26. Dodson, V.H., Hayden, T.D., "Another Look at the Portland Cement/Chemical Admixture Incompatibility Problem", Cement, Concrete and Aggregates, Vol.11, 1989, pp. 52-56.
27. Rollet, M., Levy, C., Cavailles, R., "Evaluation of Compatible Superplasticizer for the Production of High Strength Concrete", 9th Int. Congress on the Chemistry of Cement, New Delhi, Vol. V, 1992, pp. 115-121.
28. Rixom, M.R., Mailvagnan, N.P., Chemical Admixtures for Concrete, Second Edition, E.&F.N. SPON, 1986, 306 p.
29. Nawa, T., Eguchi, H., Fuyaka, Y., "Effect of Alkali Sulfate on the Rheological Behavior of Cement Paste Containing Superplasticizer, ACI SP-119, 1989, 405-424.
30. Houst, Y.F., Flatt, R.J., Brown, P., Hofmann, H., Widmer, J., Sulser, U., Maeder, U., Burge, T.A., "Influence of Superplasticizer Adsorption on the Rheology of Cement Pastes" Int. RILEM Conference on the Role of Admixtures in High Performance Concrete, France, 1999, pp. 387-402.
31. Flatt, R.J., Houst, Y.F., "A Simplified View on Chemical Effects Perturbing the Action of Superplasticizers", Cement and Concrete Research, Vol. 31, 2001, pp. 1169-1176.
32. Collepardi, M., Corradi, M., Valenti, M., "Influence of Polymerization of Sulfonated Naphthalene Condensate and Its Interaction with Cement", ACI SP-86, 1981, pp. 485-498.
33. Basile, F., Biagini, S., Ferrari, G., Collepardi, M., "Influence of Different Sulfonated Polymers on the fluidity of Cement Paste D, ACI SP-119, 1989, pp.209-220.
34. Kim, B.G., Compatibility Between Cements and Superplasticizers in High Performance Concrete: Influence of Alkali Content in Cement and of the Molecular weight of PNS on the Properties of Cement Pastes and Concretes, PhD Thesis, Department of Civil Engineering, University of Sherbrooke, Sherbrooke, Canada, 2000.
35. Uchikawa, H., "Hydration of Cement and Structure Formation and Properties of Cement Paste in the Presence of Organic Admixtures", Importance of Recent Microstructural Developments in Cement and Concrete, Sherbrooke, Canada, 1994.

36. Hsu, K.C., Chen, S.D., Su, N., "Water-Soluble Sulfonated Phenolic Resins. III. Effects of Degree of Sulfonation and Molecular weight on Concrete Workability", *Journal of Applied Polymer Science*, Vol. 76, 2000, pp. 1762-1766.
37. Mouka, M., Youn, D., Hassanali, M., "Effect of Degree of Polymerization of Water Soluble Polymers on Concrete Properties", *Cement and Concrete Research*, Vol. 23, 1993, pp. 122-130.
38. Yoshika, K., Tazawa, E., Kawai, K., Enohata, T., "Adsorption Characteristics of Superplasticizers on Cement Component Minerals", *Cement and Concrete Research*, Vol. 32, 2002, pp. 1507-1513.
39. Luke, K., Aïtcin, P.C., "Effect of Superplasticizer on Ettringite Formation", *Advances in Cementitious Materials*, American Ceramic Society, Vol. 16, 1990, pp. 1042-1122.
40. Aiad, I., "Influence of Time of Addition of Superplasticizer on the Rheological Properties of Fresh Cement Pastes", *Cement and Concrete Research*, Vol. 33, 2003, pp. 1229-1234.
41. Hsu, K.C., Chiu, J.J., Chen, S.D., Tseng, Y.C., "Effect of Addition Time of Superplasticizer on Cement Adsorption and on Concrete Workability", *Cement and Concrete Composites*, Vol. 21, 1999, pp. 425-430.
42. Nawa, T., Ichiboji, H., Kinoshita, M., "Influence of Temperature on Fluidity of Cement Paste Containing Superplasticizer with Polyethylene Oxide Graft Chains", 6th CANMET/ACI Int. Conference on Superplasticizers and Other Chemical Admixtures in Concrete, 2000, pp. 195-210.
43. Flatt, R.J., "Interaction of Superplasticizers with Model Powers in High Alkaline Medium" 5th CANMET/ACI Int. Conference on Superplasticizers and Other Chemical Admixtures in Concrete, Rome, 1997, pp. 743-762.

“8. CANMET/ACI SUPERPLASTICIZERS AND OTHER CHEMICAL ADMIXTURES IN CONCRETE” KONFERANSI

M. Sübeyl Akman
Prof. Dr. Müh.

ÖZET

Ekim 2006’da Sorrento’da CANMET/ACI tarafından düzenlenen ve ACI SP239 kitabında yayınlanan 8. uluslararası “Süperakışkanlaştırıcılar ve diğer kimyasal beton katkıları” konferansı bildirileri incelenerek ve konularına göre sıralanarak özetlendi. Konuları ilginç bulunan korozyon inhibitörleri, asit sıvı nükleer atıkların sabitlenmesi, yüksek fırın cürufklarının alkalin aktivasyonu, asit kökenli şotkret hızlandırıcıları ve otojen rötreyi azaltan melez süperakışkanlaştırıcılar bildirileri daha detaylı olarak açıklandı.

1. GİRİŞ

CANMET/ACI tarafından 2006 yılı Ekim ayında düzenlenen 8. uluslararası “Süperakışkanlaştırıcılar ve diğer kimyasal beton katkıları” konferansında edite edilen 36 bildiri ACI SP 239 kitabında basılmıştır. Bunlar dışında 26 bildiri ek bildiriler (supplementary papers) kitabında toplanmıştır. Yazımızda ACI tarafından kabul edilen 36 bildiri incelendi.

Her iki kitapta da ülkemizden gönderilen bir bildiriye rastlanmadı.

Süperakışkanlaştırıcıların konferansta daha ağırlıkla ele alındığı görülmektedir. Bunların sayısı 23’tür, diğer kimyasal madde bildirileri 12 adettir, mineral katkılara ait bir bildiri de mevcuttur. Bu sonuncusu özetlenmemiş ve yazımızda sunulmamıştır.

Konferansın İngilizcesinde superplasticizer deyimini kullanılmaktadır. Ülkemizde ise bunlara süperakışkanlaştırıcı denildiği için bu yazıda da Türkçe’de kullanılan deyim tercih edildi, ancak kısaltma SP şeklinde

birakıldı. Reolojik sabitler olan yield stress ve plastic viscosity büyüklükleri de tarafımızdan kayma eşiği ve plastik vizkozite olarak tercüme edildi. Kayma eşiği sözcüğü Fransız literatüründe kullanılan seuil de cisaillement'ın tercümesidir ve bu büyüklüğü daha anlamlı düzeyde açıklayabildiği varsayılmıştır.

2. SÜPERAKIŞKANLAŞTIRICILAR KONUSUNDAKİ BİLDİRİLER

2.1 Günümüzde Sürdürülen SP Çalışmaları – SP'lerin Güncel Sorunları

Bildiride son gelişmeler üç ana konuda toplanmıştır:

1. Prefabrikasyonun sorunu olan erken dayanım kazanılması için yapılan araştırmalar da polycarboxylate türü SP'lerin yan bağları olan polyether molekül zincirlerinin sayı ve uzunluklarının artırılmasına çalışılmaktadır. Ayrıca sterik dağılımın güçlendirilmesi de bu çalışmaların ikinci amacıdır.
 2. Hazır beton teknolojisinde çökme kaybı önlenmesi hala kesin çözüme kavuşamamıştır. SP'lere eklenecek bazı moleküllerin kademeli olarak saliverilmesi ve çimento taneleri tarafından kademeli adsorplanması üzerinde araştırmalar sürmektedir.
 3. Polycarboxylic SP'lere (PC) yeni kimyasal grupların sentezlenerek eklenmesi çalışmaları var. Özellikle yüksek performanslı betonların önemli sorunu olan otojen rötreyi azaltmak için rötreyi azaltıcı katkı (SRA) moleküllerinin SP'lere sentezi ve hidrasyon sırasında pH değerini de yükselterek bunların kademeli şekilde saliverilmesi araştırılıyor.
- 239.16. Corradi, Khurana, Magarotto, Modern Betonlar İçin Ismarlama Süperakışkanlaştırıcı

Betonu ekonomik bir yapı malzemesi düzeyinde tutabilmek amacıyla beton ve çimento endüstrilerinde pek çok önlem alınıyor. Çimento üretiminde enerji kullanımını azaltmak amacıyla ikincil yakıtlar, örneğin taşıt lastikleri, plastik şişeler, yağ endüstri atıkları, yağlı paçavralar kullanılıyor. Ayrıca çimento klinkerine doğal puzolan, uçucu kül, cüruf gibi mineral ögeler ve kalker unları katılıyor. Bu girişimler çimentonun niteliğini değiştiriyor, çünkü bu maddeler atıl (inert) değildir. Öte yandan betonların agregaları dönüşümlü agregalar(recycled) olabiliyor. Bu değişiklikler çimento-SP uyumunda farklı sorunlar çıkarıyor; her duruma göre ısmarlama (tailor-made) SP üretimi gerekli oluyor. Bu isteği karşılamak için SP üretiminde yapılabilecekler günümüzde polimer zincirinin ve yan bağlantı moleküllerinin uzunluğunu düzenlemek, serbest fonksiyonel gruplar oluşturmak, yan moleküllerin yoğunluğunu ayarlamak, elektriksel yükleri geliştirmek gibi araştırma çalışmaları sürdürmektir.

2.2. Yeni SP Türleri

239.3. Hamada ve Ark., Çok Yüksek İşlenebilirlik Sağlayan Yeni Bir SP Geliştirilmesi

Carboxylic ana zincirin yan grubu hidrofilik ve aniyonik yapıdadır, ana zincire her iki yönde aşılanmıştır. Böylece hiper-dallı bir moleküler yapı oluşmaktadır. Katkının çimento tanelerine adsorpsiyonu çok yüksektir. Plastik viskozitesi ve kayma eşiği değerleri klasik polycarboxylic SP'ye oranla düşüktür, ancak harç fazı daha sıkidır ve çimento değişikliği halinde de kararlı bir akışkanlık göstermiştir. Dayanım artışı, akışkanlık kararlılığı şantiyedeki deneylerle de kanıtlanmıştır.

239.21. Hsu ve Ark., Beton Katkısı Olarak Amfoter Bir Polimer

Araştırmacılar baryum titanat tozunda yüksek dispersiyon elde ettikleri amfoter bir kopolimeri çimentoda da uygulamışlar, olumlu sonuçlar almışlar. SP olarak polynaphthalene sulphonate aldehyde (PNS) ve polymelamine sulphonate aldehyde (PMS) ile ürettikleri kopolimeri dispersiyon, akışkanlık ve çökme sürekliliği açısından karşılaştırmışlar, eşit davranışlar elde etmişler. PDA adını verdikleri bu kopolimerin iki bileşenin de formüllerini de bildiride sunmuşlardır. Kapalı formül olarak bunlar: DAE: α -N, N-dimethyl-N-(3-(β -carboxylate) acrylamino propylammonium ethanate), AAM: acrylamid.

Kopolimer DAE ve AAM'in bazik ortamda değişik molekül ağırlıklarla karıştırılması ile üretilmiştir.

239.5. Ferrari ve ark., Dekoratif Uygulamalarda Kullanılan Yapay Süperplastifiye Agregalar

Bu bildiride kullanılan ve nanostrüktürel olarak nitelendirilen SP, polyoxyethylene yanal zincirli yüksek molekül ağırlıklı bir ticari SP'dir, toz halindedir ve referans olarak zikredilen yayında zemin yapılarında kullanıldığı belirtilmektedir. Hidratasyonda erken hidrate olan ögeleri etkileyerek prizi ve sertleşmeyi hızlandırmakta, küçük agrega tanelerinin birleşmesini ve deforme olmasını önlemektedir. Bu özelliği ile öğütülmüş kalsiyum karbonat (325 μ m inceliğinde), çimento ve pigmentler agrega taneleri haline getirilmekte ve dönen bir tabla üzerinde 4mm-12mm boyutunda pelletlenmektedir. Bu yapay agregalar terrazo zemin kaplamasında doğal agrega gibi kullanılmaktadır.

2.3. Rötire Azaltıcı Katkılarla (SRA) Birleşen SP'ler

Bu bölümde özetlenen iki bildiri çok yüksek dayanımlı beton üretiminde kullanılmak üzere üretilen rötresi kısıtlanmış SP'leri anlatmaktadır. Konu ilginçtir, zira çok düşük S/Ç oranıyla üretilen bu betonlar, kendiliğinden kurumaya (self-desiccation) maruz kaldıklarından otojen (kendiliğinden oluşan) rötire olayının sakıncalı etkisindedirler. Otojen rötreyi klasik kuruma rötresi önlemleri ile bertaraf etmek olanaksızdır, sertleşmenin başlamasından hemen sonra su içinde kür başlatılmazsa beton derhal çatlamaktadır. Otojen rötire konusunda İ.T.Ü. Yapı Malzemesi Ana Bilim dalında bu konuda başarılı iki doktora tezi 2006 yılı sonunda tamamlandı. Doktoraların birinde çözünen alkalilerin etkileri incelendi, diğerinde hidrasyon sırasında içerdikleri suyu sisteme aktaran suya doygun ince hafif agregaların yararı ele alındı [1,2].

Konferansta sunulan bildirilerin ilginç yönleri SRA'ların SP'ye sentezlenmesi ve otojen rötreyi büyük oranda azaltmalarıdır.

239.4. Sugamata ve ark., Rötire Azaltıcı Katkı Süperakışkanlaştırıcı İle Üretilen Çok Yüksek Dayanımlı Betonun Nitelikleri

Çalışmada asıl amaç çok yüksek dayanımlı beton üretmektir. Carboxylate esaslı bir SP içine az hava sürükleyen glycol kökenli bir rötire azaltıcı katarak SPSR olarak adlandırdıkları bir süperakışkanlaştırıcı kullanıyorlar. SRA'nın katılım oranı belirtilmemiş. Portland çimentosu, yüksek fırın cürufu, silis dumanı oranları 7:2:1'dir. Çimento ağırlığına göre katılan SPSR oranları %1,4 ile %1,85 arasındadır. Bu oranlar su/bağlayıcı oranı azaldıkça artmaktadır. Su/bağlayıcı oranları 0.22, 0.18 ve 0.15'dir, bağlayıcı miktarları ise 682,833, 1000 kg/m³ olmaktadır. 28 günlük dayanımlar 131, 135, 152 mPa'dır. Priz süreleri uzundur. 5 saat başlangıç, 7 saat son. Otojen rötire miktarları salt SP ile yapılan betonlara göre % 15-%30 daha azdır.

239.31. Saito ve ark., Gelişmiş Bir Melez (Hybrid) Katkının Çok Yüksek Dayanımlı Betonlara Katkısı

Bu çalışmada da amaç 60 mPa ile 150 mPa arasında dayanım gösteren betonlar için SP üretmek. Bu betonun dürabilitesi yüksek, viskozitesi de düşük olmalıydı. Deneylerde üç tür çimento kullanılmış: normal Portland, düşük hidrasyon ısı ve silis dumanlı çimentolar. Geliştirilen melez (hybrid HSP) katkının ana elemanı polycarboxylic türdedir, ayrıca viskoziteyi indirgeyen ve rötreyi azaltan kimyasal katkıları da içermektedir. Bildiride bu katkıları yandaki tabloda özetlenmiştir.

Normal Süperakışkanlaştırıcı	SP	Methacrylic-polycarboxylic kopolimer
Geliştirilen yeni süperakışkanlaştırıcı	SSP	Maleic-polycarboxylic kopolimer
Rötre azaltıcı katkıları	SRA-1	Düşük alcohol'ler
	SRA-2	Polyethere'ler
	SRA-3 (*)	Polyether türevleri
	SRA-4	Düşük alcohol alkylene oxyd ilaveli
	SRA-5	Glycol ethere türevi
Melez katkı	HSP	SSP+SRA-3

Beton karışımlarında S/Ç oranları 0.35, 0.25, 0.20 ve 0.15 olarak seçilmiş; SSP/SRA-3 oranları ise 85/15 ile 50/50 arasında değiştirilmiştir. Çimento dozajları, S/Ç=0.35 iken 457 kg/m³, 0.15 iken 1067 kg/m³ olmuştur. S/Ç=0.35 iken basınç dayanımı 28. günde 82 mPa, 91. günde 93 mPa, S/Ç oranı 0.15 iken basınç dayanımı 28. günde 148 mPa, 91. günde 185 mPa değerlerine erişmiştir. Otojen rötrelerde salt SP'ye oranla HSP kullanımında sağlanan azalmalar ise S/Ç 0.35 iken % 23, S/Ç 0.15 iken % 43.6 olmuştur. Betonlar işlenebilme yönünden mükemmel, dona dayanıklı ve karbonatlaşmayan betonlardır.

239.35 Corinaldesi, Moriconi, Rötre Azaltıcı Katkı İçeren Süperakışkanlaştırıcıların Dönüşümlü Agrega (Recycled) İle Üretilen Betonlara Etkisi

Dönüşümlü ince ve iri agregalar ile üretilen betonlarda rötreler yüksektir. SRA katkıları polycarboxylate türü SP'lere katılarak üretilen betonların kuruma rötreleri 70 gün süre ile izlenmiş ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir. SRA, SP içine önceden katılmaktadır. İki tür ticari katkı üreticisi tarafından şöyle adlandırılmaktadır: Superplasticizer with PC type SRA ve superplasticizer with RM type SRA. PC tip SRA'lı SP, precast betonlar içindir, çabuk sertleşme sağlıyor, hızlandırıcı katkı da içeriyor. RM tipli SRA içeren SP ise hazır beton (ready mix concrete) için üretiliyor ve taşınma sırasında sertleşmemesi için bir geciktirici katkı da içeriyor. İtalya'da yürütülen bu çalışmada orada üretilen ticari malzemeler kullanılmıştır.

2.4. Viskozite Düzenleyen Katkılarla (VMA, VEA) Birlikte Kullanılan SP'ler

239.27. D'Aloia, Schwartzentruber, Cordin, Taze Çimento Hamurunun Reolojisi: Süperakışkanlaştırıcı İle Viskozite Artırıcı Katkı (VEA) Arasındaki Etkileşim

Kendiliğinden sıkışan betonlarda (SCC), SP ve VEA'nın birlikte kullanılması zorunludur. Bu iki katkının birlikteliğinin hangi reolojik faktörleri etkileyeceği araştırılıyor. SCC'ler bakımından olumlu varsayılan çimento hamur fazları üzerinde çökme yayılması, akma süresi gibi basit işlenebilme testleri ile araştırmalar yürütülüyor. SP ve VEA plastik viskoziteyi ve kayma eşiğini birlikte etkiliyorlar, bu etki SP dozajına bağlı oluyor.

239.36. Khayat ve ark., Diutan Sakızı İle Üretilen Kendiliğinden Sıkışan Betonun (SCC) Performansı

Kendiliğinden yerleşen betonlarda (SCC) dinamik ve statik stabilitenin sağlanması şarttır, bunun için yüksek süperakışkanlaştırıcılar ile birlikte muhakkak bir viskozite düzenleyici katkı (VMA) kullanılır. Bu çalışmada carboxylate polimerli iki cins SP (PCP), naftalen esaslı bir SP (PNS) ve diutan sakızı (VMA) kullanılmıştır. Diutan sakızı bir tür polysaccharide'dir; aerobik mikropulu fermantasyonla üretilir, omurga yapısında D-glucose, D-glucuronic asit, L-rhamnose vardır. Bu biopolimerin moleküler yapısı çok sıkıdır, sıcaklık ve pH'a duyarlıdır. S/Ç oranı 0.42'de tutulan SCC'lerde bağlayıcıya oranla diutan oranı % 0.017 ile % 0.05 mertebelerinde tutulmuştur. Oranların düşüklüğü dikkat çekicidir. Deneylerde viskozite arttığı halde kayma eşiği yükselmemiştir. Hava sürüklenmesi PNS'de artmamış, ancak PCP'de yükselmiştir. Priz süreleri uzamıştır.

2.5. Süperakışkanlaştırıcılarla Çimentoların Uyumu Konusunda Verilen Bildiriler

239.13. Khayat, Hwang, Süperakışkanlaştırıcı Türünün Kendiliğinden Sıkışan Betonun (SSC) Performansına Etkisi

İnceleme enfastrüktür yapılarının onarımında görülen SSC karışımlarında yürütülmüş. Örneklerde S/Ç oranı 0.42 olarak sabit tutulmuş . İki tür carboxylate kökenli (PCP) ve bir tür polynaphthalene kökenli (PNS) süperakışkanlaştırıcı kullanılmış. İşlenebilme deneyleri, çökme yayılması, V-hunisi, L-kutu, doldurma kapasitesi ve yüzeysel çökme deneyleridir. Ayrıca basınç dayanımı, yüzeysel dökülme hasarı, hızlı Cl⁻ geçirimsizliği, elektriksel yalıtkanlık, kuruma rötresi deneyleri de yapılmıştır. PNS'li betonlarda yeterli işlenebilme için daha yüksek miktarda su gerekmiştir, ayrıca yüzey çökmeleri de yüksek çıkmıştır. Kuruma rötrelere de biraz daha fazla olmuştur, mamafih rötre sonucu çatlama oluşması daha uzun bir sürede meydana gelmiştir. SP'lerin taşınma nitelikleri, donatı dayanıklılık, yüzeysel dökülme hasarı ve Cl⁻ geçirimsizliği açısından farklılıkları görülmemiştir.

239.24 Lombois-Burger ve ark., Süperakışkanlaştırıcılar Ve Çimentolar Arasındaki Etkileşim

Klasik bir araştırma. Laboratuarlarda ve endüstride üretilen CEM-I çimentolar ile polycarboxylate polyethylene oxide yan bağlı SP'ler arasında ortaya çıkan sorunlar özellikle çimento üretimi sırasında klinkere katılan priz düzenleyici sülfatlar ve alkali içerikleri ve bunların alkali sülfat oluşları ele alınarak ortam sıvısındaki iyonik birleşimin durumu, reolojik davranışlardaki SP tüketim miktarlarındaki değişimler incelenmiş. Alkali sülfatların artmasıyla sülfat iyonu içeriği de artıyor, SP'lerin adsorpsiyonu giderek azalıyor. Kayma eşiği ise SP'nin adsorpsiyonunun denetimindedir, adsorpsiyonun azalması kayma eşiğini yükseltiyor ve akışkanlık da giderek düşüyor. Alkali sülfatları ile SP'ler akışkanlık oluşturma konusunda yarışma halinde oluyorlar, klinkere katılan priz düzenleyicilerin birleşimleri ve miktarları ikincil bir parametre düzeyine iniyor. Gerçekten arayer sıvısındaki sülfat konsantrasyonu, adsorpsiyon seviyesi ve kayma eşiği daha ziyade çimento kimyasının denetimindedir.

239.30. Vikan ve ark., Çimento ve Akışkanlaştırıcı Türlerinin Çimento Esaslı Bağlayıcıların Reaktifliğine ve Reolojisine Etkileri

Ticari olan 6 tür çimento ve 3 cins süperakışkanlaştırıcı (polynaphthalene sulphonate formaldehyde, SNF, lignosulphonate LS ve polycarboxylate-polyether PA) kullanılarak çimento hamurları üretilmiş ve bunlar üzerinde reolojik sabitler (plastik viskozite ve kayma eşiği), işlenebilme kaybı ve süresi, SP'lerin doyma noktaları (yani işlenebilme sağlamaları için gerekli olan minimum dozajları) saptanmış. Elde edilen kısa sonuçlar şöyle özetlenebilir: SNF ve LS plastifiyan olarak benzer sonuçlar göstermektedir, PA daha etkin bir plastifiyandır. PA akışkanlığını uzun süre sürdürürken, SNF ve LS çimento harcında akışkanlık kaybı gösterirler. Çimento üzerindeki adsorpsiyon niteliği türe bağlıdır, akışkanın doyma dozajı çimentonun inceliğine, içerdiği kübik yapı C₃A ve çözülebilen alkali içeriklerine bağlıdır. Araştırma SP tüketimi çözünebilen alkali artışı ile çoğalmaktadır, bunun hızlanan hidratasyona bağlı olduğu söylenebilir.

Bu bölümde incelenen SP-çimento uyumu konusu, her 3 bildiride de daha çok reolojik davranışlarda ele alınmıştır. Sadece Khayat ve ark. geçirimsizlik, kuruma rötresi, dona dayanıklılık gibi özelliklere değinebilmişlerdir.

2.6. SP Niteliklerini Etkileyen Çimento İçerikleri ve Beton Üretim Koşulları

239.15. Magarotto ve ark., Çimentolardaki Sülfatların Süperakışkanlaştırıcıların Performansına Etkisi

Deneysel çalışmada üç adet tip I, 52.5 çimento, bir adet tip I 42.5 çimento ve 1 adet β -naphthalensulphonate (PNS), iki adet ether polycarboxylate (PCE) süperakışkanlaştırıcı kullanılıyor. Bunların tümü ticari malzemelerdir. Çimentolardaki toplam ve çözünen sülfatların miktarı $S/C=0.5$ olan çözeltide 2 dakika sonunda iyonik kromatografi ile saptanıyor. Çimento hamurları, harçları ve betonları üzerinde minislump testi, adsorpsiyon analizleri, yayılma testi yapılıyor. İrdelemeler sonucunda varılan sonuçlar aşağıda özetlendi. Çözülebilir alkali sülfatlar SP performanslarını etkiliyorlar. En çok etki PCE de oluyor, bu sülfatlar adsorpsiyon olayında polimerler ile yarışıyorlar, PCE'nin su azaltma niteliği azalıyor, ancak işlenebilmenin korunma süresi harç fazında uzayabiliyor, bu durum bir miktar PCE'nin boşluk suyunda kalmasına bağlanıyor. PCE yan bağlantı kimyasal yapısı ile sülfat girişimleri arasında bir eğilim kurulamamış. PNS'in sülfatlardan daha az etkilendiği anlaşıyor.

239.18. Kucerova-Rössler, Çimento-Süperakışkanlaştırıcı Girişimi: Syngenite Oluşumunda Süperakışkanlaştırıcının Etkisi

Bu bildiride çimentodaki alkali sülfatların çimento-SP uyuşumundaki önemi inceleniyor. Deneylerde PC ve PNS tipi süperakışkanlaştırıcılar ve CEM I 52.5 R çimento kullanılmış, ancak alkali sülfatlar çimentoya sonradan eklenmiş. Na_2SO_4 ve K_2SO_4 'ün farklı sonuçlar verdikleri yapılan işlenebilme, adsorpsiyon, X-ışını difraksiyon, ESEM-FEG analizi testlerinde saptanmış. K_2SO_4 syngenite ($K_2SO_4 \cdot Ca_2SO_4 \cdot H_2O$) kristalinin teşekkül etmesine yol açmış; bu mineral işlenebilmeyi bozan bir ögedir. PC ve PNS'nin bu oluşumu kolaylaştırdıkları gözlenmiştir. Na_2SO_4 bu tür bir sakıncaya yol açmamıştır.

239.26 Regnaud ve ark., PCP İle Karıştırıldıktan Sonra Çimento Hamur ve Harcının Akışkanlığındaki Değişmeler: Parametrik Bir Etüt

PCP katkısı methacrylic asit ile methoxymethacrylate'in kopolimeridir. Çimentolarda priz düzenleyici olarak anhydrite (saf $CaSO_4$) veya hemihydrate ($CaSO_4 \cdot 1/2 H_2O$) kullanılmış. Beton karışımının ilk dakikalarında gözlenen aşırı akışkanlaşma (overfluidification, OF) olumsuz bir olay, terlemeye ve yerleştirme problemlerine yol açıyor. Bildirinin konusu bu OF sorunun etüdüdür.

Deneylerde çökme yayılma testi, reometre ile plastik vizkozite ve kayma eşiği tayini ve adsorpsiyon testi yapılmıştır. OF'ye yol açan üretim parametreleri sıcaklık, karıştırma hızı ve sürecidir. Sıcaklık yüksek ise OF sakıncası olmuyor, bu bakımdan kış aylarında soğuk havalarda sorun yaşanabiliyor. Karıştırma yüksek hızla yapılır ve uzun sürdürülürse OF yüzdesi azalıyor. Strüktürel parametre olarak çimentodaki charge (yük) değeri incelenmiş, deneyde kullanılan çimentoda bu değer 0.53 m.eq./g değerindeymiş ve OF gözlenmemiş. Kimyasal parametre olarak kalsiyum sülfatın türü sorun olabiliyor, priz düzenleyicisi hemy-hidrate ise OF oluşumu mümkün. İlk adsorpsiyonun az olması ve bunun zamanla fazla yükselmesi de OF oluşumunda etkili olabiliyor.

239.11 Pourchet ve ark., Üç Tür Süperakışkanlaştırıcının Trikalsiyum Alüminatın Jipsli Ortamdaki Hidratasyonuna Etkisi

SP'lerin C_3A hidratasyonu üzerindeki etkilerini araştırmak üzere deneyler çimento üzerinde değil salt C_3A üzerinde yürütülmüş, jips olarak da saf $CaSO_4$ kullanılmış. Süperakışkanlaştırıcılar ise polynaphthalene sulphonate (PNS), polycarboxylate-polyethylene (PCP) polyoxyethylene zinciri diphosphonate terminali ile sentezlenmiş özel bir katkı (PCPP) dir. Katkılar pH'ları 9.6 değerine getirilmek üzere önce 1M-NaOH ile asidik yapılarından kurtarılmışlar. C_3A ise kalsiyum karbonat ve alüminatın 1400 °C'da 3 saat kalsinasyonu ile elde edilmiş. C_3A ve $CaSO_4$ 'ün molar oranları 0.2 olmak üzere 10 g C_3A , 1.25 g jips ile karıştırılmış, kirece doymuş bir çözelti içinde 25 °C'da sürekli çalkalanmış, karbonatlaşmayı önlemek amacıyla özel tedbirler alınmış, deneyler bu çözelti üzerinde sürdürülmüş. Deney sonuçlarına göre PCP ve özellikle PNS etrenjit oluşumunu geciktiriyorlar, C_3A 'nın çözülmesini, çözülme hızını adsorpsiyonları nedeniyle düşürüyorlar. Böyle bir adsorpsiyon PCPP ile olmuyor. PCP etrenjit kristallerinin boyutlarını da küçültüyor. Etrenjit oluşumundaki bu değişimler doğal olarak priz ve sertleşmeyi geciktiriyor.

239.14 Plank ve ark., Polycarboxylate'li Süperakışkanlaştırıcıların C_3A 'nın Hidrate Fazlarına Girişi

Hidrate C_3A 'nın tabakalı olabilen yapıları arasına SP'lerin girmesi problemi inceleniyor. Daha önceleri bu tür bir çalışma PNS türü SP'lerle ve kalsiyum sülfatın da bulunduğu durumda incelenmiş. Burada da ilk sorun deney malzemesi olan C_3A 'nın hazırlanma yöntemi olmuş. Bunun için sulu kolloidal alümina, nötr $Ca(NO_3)_2$ solüsyonu ile muamele edilmiş. Kullanılan kolloidal alümina jelinde % 29.7 Al_2O_3 bulunmaktadır ve tane boyutları ortalama 200 nm'dir. $Ca(NO_3)_2$ solüsyonu ise $CaCO_3$ ve HNO_3 'den hazırlanmıştır. Alümina ve $Ca(NO_3)_2$ karışımı 70 °C ve pH yaklaşık 8 oluncaya kadar 10-12 saat

çalkalanıyor, sonra yavaşça 900 °C'a kadar ısıtılıyor, suyu buharlaşıyor ve $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ metal oksitlere dönüşüyor, en son işlemde 9 saat 1350 °C tutulan üretim öğütülerek saf C_3A elde ediliyor.

Araştırmanın diğer aşamaları PC'lerin ve $\text{Ca}.\text{Al}.\text{PC}_n.\text{LDH}$ 'nin hazırlanmasıdır. PC'lerin sentezlenmesinde methacrylic asit ile ω -methoxypoly(ethylene oxide) methacrylate (MPEG) ester kopolimerize ediliyorlar. $\text{PC}_n.\text{LDH}$ 'da n EO ünitelerinin sayısını gösteriyor. LDH (layered double hydroxide) ise C_3A 'nın ilk hidratasyon ürünleri olan ve tabakalı bir strüktür gösteren C_4AH_{19} ve C_2AH_8 minerallerinin katyonik yapısının anyonlarla kompanse edilmesiyle meydana geliyor. Oldukça karmaşık olan bu süreç SO_4^{2-} bulunması halinde daha da karmaşılaşıyor, onun için bu çalışmada saf C_3A kullanılması gerekmiş. Deneyler PC_n (n=45 kadar) C_3A 'nın oluşturduğu katmanların arasına giriyor, EO yan bağları oldukça fazla olmakla beraber bu mümkün oluyor, ancak uzun EO yan bağlarının sterik engelini gidermek için, bu zincirler eğiliyor veya katmanlar arasında sıkışıyor. İlginç taraf C_3A 'nın ilk aşamada oluşan katmanlı mineraller derhal kararlı olan kübik yapıya (C_3AH_6) dönüşürler, ancak PC'ler araya girdikleri katmanlar arasında kalırlar. Bu olay erken ve gecikmiş PC katılımında beton akışkanlığında gözlenen farklılıkları açıklamaktadır.

239.28 Golaszewski, Süperplastifiye Çimento Harçlarının Reolojik Özelliklerine Sıcaklığın Etkisi

Polyether türde düşük molekül ağırlıklı kısa yan zincirli (PE1), yine polyether türde yüksek molekül ağırlıklı uzun yan zincirli (PE2) ve polycarboxylate asit türde yüksek molekül ağırlıklı uzun ana zincirli ve kısa yan zincirli (PC) olan 3 SP ve CEM tip I laboratuvarında hazırlanmış 7 çimento örneği kullanılmış. Çimentoların incelikleri 320-420 m²/kg, C_3A içerikleri % 2-12 ve Na_2O eq. İçerikleri % 0.3-1.1 arasında değişiyor. Deneylerde karıştırma sıcaklıkları 10, 20, 30 °C oluyor, üretilen harçlarda plastik viskozite ve kayma eşikleri saptanıyor. Sıcaklıkların reolojik sabitleri büyük ölçüde değiştirdiği saptanıyor. Ancak sıcaklık yanında SP türü, C_3A ve Na_2O içerikleri ve çimento özgül yüzeyleri de bu değişikliklerde büyük etkinlik taşıyorlar. PE ve PC içeren harçların maksimum kayma eşiği değerleri farklı sıcaklıklarda oluşuyor, bu durum çimentonun aktivitesine bağlı. Çimento ne kadar çok aktif ise bu maksimum değer o kadar yüksek sıcaklıkta meydana çıkıyor. Düşük C_3A 'lı çimentolarda bu maksimum 25°C'de, yüksek C_3A 'lı çimentolarda 25 °C'ın üzerinde oluyor. Sıcaklık derecesi SP-çimento uyumunda önemli bir kriter kabul edilebilir, ayrıca reoloji sabitlerinin harç üzerinde tayini ile üretimde gözetilecek optimum sıcaklık da belirlenebilir.

2.7. SP Kullanımında Deneylere Dayanan Teorik Öneriler

239.7. Flatt, Schober, 5C Reometrisi İle Katkıların Etüdü

SP katkı maddelerinin en başta gelen özelliği işlenebilme. Genellikle çökme yayılması testi ile yapılıyor. Çok basit olan bu test elbette uygulama alanında sürdürülmeye devam edecektir. Ancak işlenebilmenin reolojik sabitler olan τ_0 akma eşiği ve γ_{pl} plastik viskozite ile değerlendirilmesi gereklidir. Sorun uygulamada ölçülen D yayılma büyüklüğü ile τ_0 akma eşiği arasında bir bağlantı kurmakla çözümlenebilir. Roussel ve Coussot 2005'de bir ampirik formül önerdiler.

$$\tau_0 = 4 \frac{\rho \cdot V \cdot g}{\sqrt{3} \cdot \pi \cdot D^2}$$

V örnek hacmi, ρ beton yoğunluğunu, g yerçekimi ivmesini göstermektedir.

Ancak bu formülü kayma eşiğinin taneler arası kuvvetlere ve katıların hacimsel fonksiyonuna bağlı olduğu düşünülerek yayılma ile adsorpsiyon arasında logaritmik bir bağlantı kurmak mümkün olabilir. Teorik olarak geliştirilen bu yaklaşım henüz deneyle tam kanıtlanmamış, bunun için reometre testleri de sürdürülüyor.

239.12. Schober-Flatt, Polycarboxylate Polimerlerin Optimizasyonu

Kendiliğinden sıkışan betonları (SCC), yüksek performanslı ve dayanımlı betonları oluşturan, ana molekülü iyonik, yan molekülleri non-iyonik olan ve taraklı molekül görünümüne sahip polycarboxylate polimerler beton teknolojisinde devrim yaptılar. Farklı kimyası, yapısı, iyonik içeriği, uzunluğu yüksek yan bağlantıları ile bu polimerler zorlu araştırmalar gerektiriyor. Özellikle strüktür değişikliklerinin su azaltmaya, yüksek akışkanlık sağlamaya ve işlenebilmeyi uzun süre kaybetmemeye olan etkileri araştırılıyor. Böylece, iyi adsorpsiyon, iyi yüzey kaplama, iyi dispersiyonla strüktürün bağlantıları ana konular oluyor. Deneysel olarak methacrylic acid/polyalkylene glycol methacrylate oranları değiştirilerek ve önce yan molekül uzunluğu sabit, sonra değişken SP'ler üretiliyor, köpüklenmeler katkı ile önleniyor. Adsorpsiyon, hamur, harç ve betonda akış ve SCC üretim testleri gerçekleştiriliyor. Adsorbe edilen polimerin artması akmayı kolaylaştırıyor, kayma eşik değerini düşürüyor, iyonik içeriğin yüksekliği, molekülün uzunluğu ve özellikle yan bağ molekülünün uzunluğu adsorpsiyonu arttırıyorlar. Sonuçlar hamurda anlamlı değerde, harç ve betonda aynı anlamlılık olamıyor.

2.8. Lignosülfonat Süperakışkanlaştırıcılar Üzerinde Yapılan Araştırmalar

239.19. Myrvold, Lignosülfatların Çimento ve Çimentonun Hidrate Ürünleri İle Adsorpsiyonu

Çalışmanın irdeleme bölümü ağırlıklı. Sodyum lignosülfatın çimento mineralleri ile adsorpsiyon süreci teorik ve deneysel düzeyde inceleniyor. Lignosülfonatin adsorplanacak daha geniş bir yüzey bulmasının gerekliliği vurgulanıyor; çimentonun hidrate minerallerinin daha büyük yüzeye sahip olmaları bu imkanı sağlıyor. Bunun için çimentonun önceden hidrate edilmesinin yararlı olacağı öneriliyor. Deneylerde tüketilen lignosülfat miktarının ölçülmesi ile bu varsayım doğrulanıyor. Ayrıca lignosülfatların dispersiyon dışında geciktirici nitelikleri de inceleniyor. C_3A ve C_4AF 'nin hızlı hidratasyonları sonucu salıverdikleri iyonlar lignosülfatları modifiye ederler; lignosülfatın hidrate alüminyum fazları ile adsorpsiyonu ne kadar güçlü ise dispersiyon güçleri de o kadar yüksektir, ancak ortamda arta kalan modifiye lignosülfatlar (yani fenolik ve karboksilik fraksiyonlardan arındırılmış lignosülfatlar) salıverilen iyonlarla birleşir ve silikatların hidratasyonuna katılırlar. Bu güçlü adsorpsiyon ve hidratasyona katılım geciktirmeyi azaltır.

239.31 Zhor, Çimento-Su Sisteminde Lignosülfatların Performansına Fonksiyonel Grupların Etkisi

Lignosülfatların üretiminde uygulanan sülfite, sülfat ve organo-solv süreçlerinde oluşan fraksiyonlar sülfonatlar, carboxyl, phenolic hydroxyl, aliphatic hydroxyl ve methoxyllerdir. Araştırmada bu fraksiyonlar, bunların moleküler yapıları ve her fraksiyondaki C-C, C-O-C birim bağlantıları saptanmıştır.

Bu fonksiyonel grupların türleri ve sayıların ile lignosülfatların çimento tanelerini dağıtma (dispersiyon), priz geciktirme ve hava sürüklenme niteliklerine etkileri arasındaki korelasyonları tartışılmıştır.

Dispersiyon ile methoxyl grubu arasında pozitif, carboxyl grubu arasında ise çok negatif korelasyon olmuştur. Sülfonat grubu ile de korelasyon düşük düzeydedir. Priz geciktirme olayında C-C bağlantıları pozitif, sülfonat grubu negatif korelasyon yapmışlar. Hava sürüklemeye carboxyl grubu pozitif, aliphatic hydroxyl grubu negatif, sülfonatlar düşük düzeyde pozitif korelasyon gerçekleştirmişlerdir. Bu sonuçlar çimento hidratasyon sürecindeki lignosülfatların girişimini açıklamaktadır.

3. SÜPER AKIŞKANLAŞTIRICILAR DIŞINDAKİ DİĞER KİMYASAL BETON KATKILARI

Rötre azaltıcı ve viskozite düzenleyici kimyasal katkıları, normal SP içermeyen betonlar için de geliştirilmiş ve konferansta bildiri olarak sunulmuştur.

3.1. Rötre Azaltıcı Katkılar (SRA)

239.6. Bettencourt Ribeiro ve ark., Farklı Dozajlarda Rötre Azaltan Katkılar İçeren Harçların Davranışı

Yüksek molekül ağırlıklı polyglycol ve alkylether'den oluşan iki SRA (shrinkage reducing admixture) katılarak üretilen çimento harçlarında kuruma rötreleri ve otojen rötreler, basınç dayanımları, ağırlık kayıpları ölçülüyor. Katkılar harçtaki kılcal boşluklardaki sıvının yüzey gerilimini düşürüyorlar; ancak rötredeki azalma yüzey geriliminin azalması ile orantılı olmuyor. Otojen rötre sonuçları da olumlu değil. Araştırmacıların değerlendirmeleri ve bulguları arasında, SRA'ların çimento hidratasyonunu erteledikleri ve nihai dayanımı düşürdükleri, toplam rötre azaltmada her SRA'nın farklı dozajı olduğu, rötre azaltmanın sadece yüzey gerilimini düşürmeye değil, aynı zamanda serbest yüzey enerjisini değiştirmeye de bağlı olduğu, erken ve geç rötre azaltmanın harcın erken yaştaki viskoelastik özellikleriyle ve SRA'nın molekül ağırlığı ile ilgili olduğu şeklindeki ifadeleri var.

239.20. Masanaga ve ark., Yeni Bir Yüksek Performanslı Kuruma Rötresi Azaltıcı Katkı

NSR-1 adıyla önerilen katkı hidrofobik bir grup içeriyor ve böylece boşluk yüzeylerini su itici kılarak da yararlı oluyor. Araştırmacılar kılcal boşluklardaki suyun yüzey gerilimini indirgeyerek rötreyi azaltan klasik katkılarla NSR-1'i mukayese ediyorlar. Bunlar DSRA= polyoxyalkyleneglycole veya bunun alkylether'leri, alcohols-alkylene oxide. Önerilen NSR-1'in hidrofobik ve karboksilik gruplar içerdiği belirtilmekle beraber ana bileşeni hakkında bilgi verilmemiş. Harçlar ve betonlar üzerinde karşılaştırmalı deneyler yürütülmüş, rötre değerleri için sayısal değerler yok, ancak bir şekil 30 güne kadar olan değerleri gösteriyor, rötre değerleri 28. günde 350x10⁻⁶ düzeyinde, diğer SRA'larda bu değerler hemen hemen aynı. NSR-1'in üstünlüğü gerekli dozajın çok düşük oluşu, klasik SRA'larla eşit bir rötre deformasyonu için gereken dozajın 1/7'si yeterli oluyor. Çimento tanelerine olan adsorpsiyonu güçlü, kılcal boşluk suyunun yüzey gerilimini indirgememiş, hava sürüklemeye de tane açıklık faktörünü (spacing factor) iyi düzeye getirmiş, priz sürelerini geçiktirmiş.

239.25. Collepardi ve ark. Hasarlı Beton Yapıların Onarımında Rötresiz Harçlar

Onarım harçlarının genleşmesi ve rötre yapmamaları gereklidir. Genleşme için harca sönmemiş kireç CaO ve CSA (kalsiyum sülfat alüminat) katılır, bunların hidrasyonu sonucu oluşan sönmüş kireç (kalsiyum hidroksit) ve etrenjit genleşmeyi sağlarlar. Ortamın ıslatılması ve harcın ıslak kürlenmesi zorunludur. Genleştirici ögelerle birlikte bir rötre azaltıcı kullanımı ıslak kürlenme zorunluluğunu bertaraf etmektedir. Bu çalışmada SRA olarak propylene-glycol ether ile CaO kullanılmıştır. SRA + CaO ortak kullanımı, SRA+CSA kullanımına oranla daha yararlı olmuştur.

3.2 Viskozite Düzenleyen, Artıran Katkılar (VMA, VEA)

239.2. Jecknavorian ve ark., Kıırma Agregalı Çimentolu Sistemlerin Reolojik Davranışlarını Düzenleyen Kimyasal Katkılarının Kullanımı

Özellikle kırmataş kumla üretilen betonlarda işlenebilme sorunları kohezyon problemleri çıktığı bilinir. Bunun çözümü için 75 µm'den ince tane miktarlarını artırmak ve hamur fazını miktarca ve kalite olarak yükseltmektir. Çimentonun artırılması elbette ekonomik bir sorun yaratır. Araştırmada petrografisi, şekli, yüzey pürüzlülükleri farklı 7 cins kırma, 8 cins doğal kumla harçlar üretilmiş, bunların hamur fazları % 0,10, 20, 30, 40 değerlerinde gerçekleştirilmiştir. Ayrıca harç fazı artırılmayan ama çimentonun 0.0035 oranında bir VMA (viscosity modifying admixture) katılan harçta da deneyler sürdürülmüş, deneysel koaksiyel bir reometre vasıtasıyla kayma eşiği ve plastik viskozite tayin edilmiştir. Kumların niteliklerine göre VMA uygulaması bazı kumlarda hamur fazının artırılmasına gerek bırakmamış, ama her durumda bu olumlu sonuç elde edilememiş. Her iki önlemin birlikte alınması genellikle uygun oluyor, VMA katılımı kayma eşiğini bozmadan hamur miktarında %12 bir azalma sağlayabilirmiş. Kullanılan VMA'nın açıklaması verilmemiş, sadece bio-polimer olduğu zikredilmiş.

239.8. Izumi ve ark., Betonu Koyulaştıran Yeni Bir Polysaccharide'in Özellikleri

NPD olarak adlandırılan koyulaştırıcı (vizkozite artırıcı, viscosity enhancing admixture, VEA) ana iskeleti selüloz zinciri olan ve iki fonksiyonel gruba bulunan bir katkıdır. Fonksiyonel gruplardan biri iyonik, diğeri hidrofobiktir, bunlar ters etki oluşturan gruplardır. NPD'nin molekül ağırlığı aynı amaç için yararlanılan methylcellulose, hydroxyl ethylcellulose ve Xantan sakızından daha düşüktür. Bu katkılar çimento ortamındaki iyonik direnç sonucu kıvam artırıcı etkilerini yitiriyorlar. NDP ise iyonik dirençten etkilenmiyor,

terleme (bleeding) sorununda yararlı oluyor, ayrıca çimento tanelerinin dispersiyonunu da kısıtlamıyor. Deneyler harç ve betonlarda reometre deneyleri ile sürdürülmüş ve viskozite değerleri ölçülmüş, bu arada bir LNG saklama deposunun SCC beton duvarlarının yapımında da kullanılmış.

239.10 Yamamuro ve ark., Yapı Malzemesi Olan İnce Enjeksiyon Harcının Reolojisini Değiştiren Yeni Bir Katkı

Enjeksiyon dolgu malzemesi (grouting) için viskozite düzenleyen bir katkı öneriliyor. Katkının esası methyl cellulose'dur, iki bileşenlidir, katyonik ve anyonik tansio aktif elemanlardan oluşuyor. Deneylerde çok ince kum da kullanılıyor, SP'de katmışlar. S/Ç oranları 0.50'den 6.00'a değiştiriliyor ve her iki bileşen katılım suyunun yüzdesi olarak eşit miktarda 0.50 (S/Ç=0.50) ve 1 oluyor, böylece toplam yüzde % 1 ve %2'yi buluyor. 28 günlük basınçlar S/Ç=0.5 iken 41.9 mPa, S/Ç=3.00 iken 0.3 mPa oluyor. Bu VMA yüksek bir segregasyon direnci sağlıyor, S/Ç>1 olduğunda da bu direnç var, gecikme olayı yok.

239.22 Mikanovic ve ark., Çimento veya Kalsiyum Karbonat Hamurlarının Stabilitesine ve Reolojisine Etkiyen Kimyasal Sürfaktanlar

Öğütülmüş kalsiyum karbonat (kalker) unu veya portland çimentosu ile hazırlanan hamurlara değişik nitelikli sürfaktanlar katılarak terleme (bleeding) ve sedimentasyon özellikleri ölçülüyor. Sağlanan yararların hangi nedenlere dayandığı açıklanıyor. Sürfaktanların adları, kimyasal formülleri, moleküler ağırlıkları veriliyor, aşağıda bu adlar ve örnek olarak ikisinin kimyasal kapalı formülleri ve molekül ağırlıkları yazıldı:

n-decyl sulfate Na, $n\text{-C}_{10}\text{H}_{21}\text{O}\cdot\text{SO}_3\cdot\text{Na}$, Mw=260.3 g/mol

Triton $\text{C}_8\text{H}_{17}\text{C}_6\text{H}_4\text{O}$, Mw= 625 g/mol

$(\text{CH}_2\text{-CH}_2\text{O})_{9-10}$

Pluronic L-61, PPG, PEG

CaCO_3 özgül yüzey alanı 1.2 m²/g, ortalama tane boyu 10 µm

Çimento özgül yüzey alanı 1.2 m²/g, ortalama tane boyu 20-30 µm

Bu çalışmada güdülen amaç kimyasal katkıların özellikle salt fiziksel etkilerini, kimyasal girişimlerden arındırarak inceleyebilmektir. CaCO_3 unu inert (atıl) bir maddedir, çimento ise hidratasyon süreci başlayınca farklı bir yapıya kavuşur, özellikle bir SP'nin çimento dispersiyonundaki elektriksel ve sterik etkisi hidratasyona katılması nedeniyle tam anlaşılamaz. Inert bir tozla çimento erken dönemde benzerlik gösterirlerse, inert toz bir model

kabul edilebilir ve katkının fiziksel etkisi daha iyi anlaşılabilir. Daha önce bu anlamda TiO_2 , $\text{Mg}(\text{OH})_2$, quartz gibi maddelerle yapılmış deneyler var. Bu araştırma da bu yönde bir deneydir ve çimentonun suyla temasından 1 saat sonra CaCO_3 unuyla olan aradaki benzerlik kaybolmaktadır. Ancak ilk saatlerde bu sürfaktanların terleme ve sedimentasyon kararlılığını bozdukları görülmektedir ve kanal yaratarak terlemeyi artırmaktadırlar.

3.3 Priz ve Sertleşme Hızlandıran Katkılar

239.32. Maltese ve ark., İnorganik Asit Kökenli, Alkali İçermeyen Hızlandırıcının Prize Etkisi ve klinkeri Muhtelif Priz Düzenleyiciler İçeren Klinkerin Hidratasyonu ve Basınç Dayanımı Gelişmesi

Şotkret uygulamalarında yüzeye fırlatılan betonun yapışması ve çok kısa zamanda sertleşip dayanım kazanması şarttır. Bunun için kullanılan hızlandırıcı (accelerator) katkıları, alkali yönünden zengin, sodyum alüminat, sodyum silikat gibi katkılardır. Son zamanlarda sağlık açısından bu katkıları alkali içermeyen katkılarla değiştirilmeye başlandı. Bu yeni katkıları iki grupta toplamak mümkündür. Bunlar organik veya inorganik bir asitle stabilize edilen alüminyum sülfat kompleksleridir. Şotkretin yüzeye yapışma yeteneği hızlandırıcı ve hidratlaşan çimento arasındaki reaksiyonun etkinliğine bağlıdır. Bu etkinlik priz sonu zamanı ve basınç dayanımının gelişme süreci ölçülerek belirlenir. Olay pek çok faktörün etkisindedir: hızlandırıcı türü, içerdiği katı miktarı, çimento bileşimi, klinkere katılan priz düzenleyici ögeler, çevre şartları vs. olayı etkilerler. Bu çalışmada da klinkere anhydrite (CaSO_4) veya hemihydrate ($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2 \text{H}_2\text{O}$) priz düzenleyicileri katılarak, kullanılan alkalisiz inorganik asitle stabilize edilen hızlandırıcının priz süreleri ve dayanım kazanım süreçleri etüt edilmiştir. Anhydrit'in ani çözülme süresi dakikada 1 g/l, hemihydrate'inki ise dakikada 38 g/l'dir. Örneklerin hidratasyon süreçleri, termo-kimyasal hidratasyon profili ile ESEM-FEG (Environmental Scanning Electron Microcopy – Field Emission Gun), X-Ray Powder Diffraction, TG (ThermoGravimetry) ve BET ile özgül yüzey ölçümleri yapılarak incelenmiştir. Basınç dayanımları ilk saatlerde 1MPa'dan düşük olduğu için dijital kuvvet ölçer kullanarak saptanmıştır.

Hızlandırıcı için verilen detaylar çok kısadır. pH'ı 2.5'tur, katı içeriği % 44'tür ve kimyasal kompozisyonunda sadece % 11 Al_2O_3 ve % 16.2 SO_3 değerleri verilmiştir.

Deneylerde priz sonları, priz düzenleyici katılmamış çimentoda 200 dak., β -hemihydrate katılmışta 500 dakika, anhydrite katılmışta 360 dakika olmuştur. Ancak hızlandırıcı katılınca bu değerler büyük oranda değişmiştir.

Priz düzenleyicisi olmayan çimentoda 13 dak., β -hemihydrate'li çimentoda 40 dak., anhydrite'li çimentoda 25 dak. Hızlandırıcı hidrasyonunun ölü (dormant period) döneminde katılınca amorf hidrate sülfoalüminat tabakası hemen oluştuğundan, hızlandırıcı bu tabakayla reaksiyona girerek Aft fazını oluşturur, böylece hızlı viskozite artışı somutlaşır.

Kalsiyum sülfatın ani çözülme hızı ne kadar yavaşsa, hızlandırıcının etkisi o kadar yüksek oluyor, bu teşekkül eden etrenjitin morfolojisinden görülüyor. Bu morfoloji etrenjit kristalinin nucleation/growth (ilk oluşum/büyüme) oranına bağlı. Anhydrite büyümeyi, hemihydrate ilk oluşumu etkiliyorlar, şokret uygulamalarında anhydrite içeren çimentonun tercih edilmesi gerekiyor.

3.4 Korozyon İnhibitörleri

239.17. Bolzoni ve ark., Betonarme İçin Ticari Korozyon İnhibitörlerin Etkinlikleri

Bildiride önce halen kullanılan ve ticari olarak üretilen inhibitörlerin sınıfları, türleri, etkiye biçimleri ve sorunları ele alınıyor. Yapılan deneyssel çalışmalar 5 yıl sürüyor ve 5 cins inhibitör kullanılıyor. Korozyon hızları ve donatı potansiyelleri ölçülerek değerlendirmeler gerçekleştiriliyor.

Bildirinin giriş bölümünde verilen bilgiler ilginç bulunarak incelendi. İnhibitörler inorganik veya organik kökenli olabilir. Bunlar 2 grupta toplanabilir: 1. Betona karışım sırasında katılanlar (admixed corrosion inhibitors, ACIs), 2. Beton yüzeyine sürülüp, kütleye süzülen (migrating) inhibitörler (migrating corrosion inhibitors, MCIs). İnorganik ACIs'lar arasında en yaygın olarak bilinen inhibitörler nitrit kökenli olanlardır. Bunlarda etkinlik nitrit/klor iyonlarının oranına bağlıdır. Düşük dozajlarda kullanılması halinde zararlılıkları, çözünürlükleri ve korozyon hızındaki artışları veya çatlama olduğunda sıvılaşarak ayrışmaları gibi tereddütler var.

Organik inhibitörler ise metal yüzeyde adsorbe edilerek tabaka oluştururlar, böylece hem anodik, hem katodik süreçlerde faydalı olabilirler. Yapılan testlerde etkinlikleri konusunda pozitif ve negatif sonuçlara varılmıştır, ayrıca uzun sürede etkinliklerinin kalıcılığı da kanıtlanamamıştır.

MCIs'lerin donatı yüzeyine erişebilme yetenekleri önemlidir. Bunların günde 2 mm olan bir hızla süzildükleri ifade edilmiştir. Tabii betonun boşluklu oluşu, dışa açık porozitenin varlığı bu penetrasyonu artırır, ancak böyle bir yapıda zararlı maddelerin de donatıya erişmesi kolaylaşır. Tartışılan

diğer bir husus inhibitörün bileşenlerinin donatıya varmak yerine çimentoyla reaksiyona girmesidir.

Deneylerde 3 tür organik inhibitör kullanılmış, bunlar amino-alcohols, alkanolamine, amine-esther'dir ve betonda dozajları sırasıyla 10, 1.6, 5 kg/m³'tür. İnorganik inhibitör ise % 30 konsantrasyonlu Ca(NO₂)₂ solüsyonudur ve dozajı 10 kg/m³'tür.

Kullanılan çimentolar CEM II A/L 42.5 R'dir, S/Ç=0.6, çimento dozajları 367 kg/m³ olan betonlar üretilmiştir. 20x25x5 cm'lik prizmalara yerleştirilmişlerdir. 0.2 mm çapında çelik tel ayrıca bir adet titanyumla aktive edilmiş metal bir oksitlenmiş tel bu betona gömülmüş, pas payı 2 cm alınmıştır.

Deneylerde klorür içeren betonlar veya klorürlü solüsyonda saklanan betonlar ve karbonatlaşmış betonlar örnek olarak kullanılmıştır. ACIs ve MICs katkılarıyla üretici firmaların önerdiği dozajlara uyulmuştur.

Klorürlü betonlarda ACI's'ler korozyon başlaması için geçen zamanı uzatmışlar, korozyon başladıktan sonra korozyon hızını kısıtlayamamışlardır. Betonun karbonatlaşmasını da önleyememişler. Bu durumda korozyon başlarsa, korozyon hızını azaltma yetenekleri de olmamıştır.

MCI's'ler korozyon başlamadan yüzeye sürülürse, klorür korozyonuna etkin olabiliyorlar. Korozyon hızı üzerinde etkinlikleri yok.

239.29. Tittarelli ve ark., Beton İçindeki Galvanize Çeliğin Korozyonunu Kontrol Eden Hidrofobik Katkı

Silan içeren hidrofobik katkı önceden betona katılıyor. Kontrol için de silan içermeyen betonlar üretiliyor. Kullanılan katkı solüsyonu % 45 oranında butyl-ethoxy-silane içermektedir. 11.8-7.1 kg/m³ betona katılmıştır. Bu farklı iki değer üretilen betonun S/Ç oranına bağlıdır ve 11.8 kg/m³ S/Ç=0.45 olması durumunda, 7.1 kg/m³ ise S/Ç=0.75 durumundadır. Çimento CEM II A-L, 42.5 R'dir, S/Ç 0.45 iken C=553 kg/m³, S/Ç=0.75 iken C=320 kg/m³'tür. Numunelerin bir grubu çatlaksız, bir grubu da 1 mm çatlaklıdır. Korozyonu incelenen çelik sıcak galvanizlenen bir levhadır ve numune ortasına yerleştirilmiştir. Korozif ortam % 10 NaCl içeren sıvıdır. Deneylerde ıslanma-kuruma sürecine gidilmiştir. Korozyon gözlem, elektro-kimyasal ölçümler ve metalografik izlemelerle değerlendirilmiş.

Betonlar çatlaklı ve nispeten düşük kaliteli olmalarına rağmen korozyon gözlenmemiştir. Ancak hidrofobik katkı kullanılmadığı takdirde katot

reaksiyonu hızlanarak, oksijen girişi hızlanıyor ve korozyon belirgin düzeyde meydana geliyor.

Not: Silan bilindiği gibi organik kimyadaki C'nin fonksiyonuna yakın bağlantılar kuran bir Si' silisyum ailesidir. Ana bileşeni dimethyl dihydroxysilan'dır, polikondansasyonla silan zincirine dönüşür, silan bileşenleri (silikonlar) inşaat teknolojisinde su geçirimsizliği yüzünden en mükemmel sonuçları veren malzemelerdir.

3.5 Sıvı Nükleer Atıkların Sabitleştirilmesi İçin Kullanılan Kimyasallar

239.34 Collepardi ve ark., Asit Nükleer Atıkların Sabitleştirilmesindeki Bağlayıcılar Üzerinde D-sorbitol'ün Etkisi

Bildirinin giriş bölümünde nükleer atıkların sabitleştirilerek depolanması konusunda İtalya'daki uygulama dikkate alınarak, kısaca bilgi aktarılıyor. Ancak deneyler radyoaktif olmayan ve EUREX'deki sıvıyı simüle eden bir karışım üzerinde yürütülüyor.

Giriş bölümünde asıl uygulama hakkında verilen bilgileri özetlemek yararlıdır. İtalya Saluggia'daki EUREX'in proses biriminde kısa ömürlü C_s , S_r ve S_f -90 radionükleid'leri ve α emisyonu yapan uzun ömürlü radyoizotop izleri 1970'den beri immobilize edilerek izleniyor. İmmobilizasyon (sabitleştirme) portland çimentosu, uçucu kül ve yüksek fırın cürufundan oluşan ve agrega içermeyen bir bağlayıcı sistemiyle sağlanıyor. Ancak nükleer atık nedeniyle hazırlanan çözelti çok asit ($pH < 1$) ve yüksek fırın cürufu nedeniyle de yüksek kıvamlı oluyor, su/bağlayıcı oranını da, dayanımı düşürmemek gereği ile yükseltmek olanağı yok. İlk işlem çok yüksek oranda mevcut olan Al^{3+} iyonlarını NaOH ile alkalileştirmek ($pH \geq 13$) ve $Na^+Al(OH)_4^-$ düzeyine indirmek oluyor. NaOH'ın varlığı sertleştirmeyi hızlandırdığı gibi ortamda aktif silis bulunmadığından bir alkali-agrega sakıncasına da yol açmıyor. Yüksek kıvamlı bu sıvının yeterli işlenebilmede olması ve gerekli hızda sertleşip dayanım kazanması önemli bir sorun oluyor. SP kullanımı istenilen çözümü getiremiyor. Araştırma bu amaçla yürütülüyor. Polyol'lerin alüminyum ürünleri ile olan ayırıcı-tutucu yeteneği bu konuda yararlı olabilir fikri araştırmayı yönlendirmiş.

Araştırmada nükleer atık içeren bir karışım yerine Al ve Fe nitrat tuzları içeren bir karışım hazırlanıyor ve 19 M NaOH'la alkalinize ediliyor ($pH > 13$). Kimyasal ters vuruş (reverse strike) süreci kullanılarak suda çözünen sodyum alüminat elde ediliyor. $Na^+Al(OH)_4^-$. Ayrıca, $Al(OH)_3$ jelinin oluşması

önleniyor. NaOH'ın fazları da yüksek fırın cürufunun aktivasyonuna yardımcı oluyor. Akışkanlık sağlamak için önerilen polyol çözeltisi, % 70'i D-sorbitol olan bir solüsyondur. Bu madde alkalize edilmiş solüsyona önce katılıyor, sonra solüsyon bağlayıcı sisteme katılarak karıştırılıyor. İşlenebilme sarsma tablası ile ölçülüyor, çaptaki artış yüzdesi belirleniyor, 1, 3, 7 ve 28 günlük basınç dayanımları tayin ediliyor. Atığın uzun süre kararlılığı Na^+ ve Ca^{2+} iyonlarının saliverilmesi (leaching) demineralize suda saklanarak 90 gün sürekli ölçülüyor. Tabii burada ölçülenler nükleidler değil!. Yerleştirme açısından mekanik bir sıkıştırma yöntemi gerekmiyor.

Sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

1. İşlenebilme çok düşük % 70'lik D-sorbitollü süspansiyon miktarları ile sağlanmıştır: % 0.2 ve % 0.5.
2. İşlenebilme kaybı karıştırmadan bir saat sonra bile % 100 yayılma çap artışı korumuştur.
3. Erken yaşlarda basınç dayanımı değişmemiş, ancak ileriki yaşlarda artmıştır. 28 günlük D-sorbitolsüz 28 mPa, % 0.5 D-sorbitollü 42 mPa.
4. Saliverme (leaching) indeksi D-sorbitol varlığı ile değişmemiştir.

Bağlayıcı terkibi % 65 yüksek fırın cürufu, % 25 uçucu kül, % 10 hidrate kireç. Simüle edilen solüsyon mol/l olarak birleşimi yüzde olarak HNO_3 0.79, H_2SO_4 0.02, $\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ 1.13, $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ 0.01.

D-sorbitol maddesi hakkında tarafımızdan açıklama yapıldı. Sorbitol kimyasal formülü $\text{CH}_2\text{OH}-(\text{CHOH})_4-\text{CH}_2\text{OH}$ olan bir polyalcohol'dür. Işığın polarlama düzlemini sağa döndüren izomerine D-sorbitol adı verilmiştir. Üvez ağacı yemişinden, aldehit grubu indirgenerek elde edilir. Glüsit, glüsitol adları da verilmektedir. Eczacılıkta da kullanılan bir maddedir.

İ.T.Ü. Yapı Malzemesi Ana bilim dalında da nükleer atıkların saklanması bentonit ve zeolit kullanımı konusunda bir doktora tezi yapıldı ve Japonya'da sunuldu. Immobilizasyon portland çimentosu, kum, su ile üretilen harçlarda gerçekleştirildi. Radyonükleid olarak Co57, Cs134, Se75 kullanıldı ve harç karıştırma suyuna katıldı. Klasik harç deneyleri dışında özellikle leaching testleri yapıldı. Zeolitlerin Co ve Cs gibi elementlerde, bentonitin sodyum selenate'da yararlı olduğu gözlemlendi [3].

3.7 Yüksek Fırın Cürufu Aktivasyonunda Alkalın Kimyasal Kullanımı

239.23 Palacio, Puertos, Banfiel, Alkaliyle Aktive Edilen Yüksek Fırın Cürufu, Hamur ve Harçlarının Aktivasyon Sürecine, Reolojik, Mekanik ve Dayanıklılık Özelliklerine Organik Katkıların Etkisi

Yüksek fırın cürufalarının aktivasyonu su-camı dediğimiz $\text{Na}_2\text{O}-n\text{SiO}_2 \cdot m\text{H}_2\text{O}+\text{NaOH}$, (sodyum silikat+sodyum hidroksit) ile aktive edilip bağlayıcılık kazandırılıyor. Bu yöntemle alkalin aktivasyon diyoruz. Araştırmada cürufun % 4'ü kadar Na_2O ve $\text{Na}_2\text{O}/\text{SiO}_2$ oranı 1-1.2 olacak şekilde hazırlanan su-camı solüsyonuna, cürufun % 1'i oranında bir vinyl-copolymer (v) veya % 2 oranında rötre azaltıcı bir katkı (SRA) olan polypropyleneglycol katılıyor. Hazırlanan bu sıvılar yüksek fırın cürufu ve kumla karıştırılarak harçlar üretiliyor. Bağlayıcı/kum oranı 1/2'dir. Sıvı/katı oranları ise 0.50-0.58 olarak katkı katılım şekline göre değiştiriliyor. Kontrol için CEM-I, 42.5 N çimento ile üretilen harçlarda katkı yok, S/Ç oranı 0.42, çimento/kum oranı da 1/2'dir.

Tüm harçlar üzerinde eğilme ve basınç deneyleri yürütülüyor, numuneler önce 1 gün suda (portland çimento harçları, PCM), 2 gün suda (alkali aktive harçlar, AAS) sonra deney gününe kadar % 99 bağıl nemde kürleniyorlar. AAS numunelerde 4 çeşit var: 1. sadece su camı ile aktive olanlar (B), 2. su camı ve % 1 SRA ile aktive olanlar (C1), 3. su camı ve % 2 SRA ile aktive olanlar (C2) ve 4. su camı ve v ile aktive olanlar (D).

Kuruma rötre deneyleri % 99 veya % 50 bağıl nemli hacimlerde tutularak ölçülüyor.

Reolojik deneyleri rotasyonel bir viskometre aygıtı ile gerçekleştiriliyor ve özellikle kayma eşikleri tayin ediliyor.

Dürabilite testleri karbonatlaşmaya ve yüksek sıcaklığa dayanım şeklinde ele alınmış. Karbonatlaşma özel odada, % 43.2 bağıl nem ve doymuş CO_2 altında 4 ve 8 ay tutuluyor, sonra karbonat derinliği ve basınç dayanımları ölçülüyor. Yüksek sıcaklık 100 °C ve 1000 °C arasında değiştirilerek 2 saat uygulanıyor ve basınç dayanımları ölçülüyor.

Elde edilen sonuçlar aşağıda özetlendi.

İşlenebilme açısından AAS'lerin kayma eşikleri PCM'lere göre iki defa daha azdır. Sadece su-camı ile üretilen AAS'ler ilk 5 dakika süresinde organik katkı ilave edilenlere göre yüksek olmakla beraber, zamanla aradaki fark kaybolmaktadır. Reolojik davranışlar PCM ve AAS'lerde farklılıklar gösteriyor, PCM'lerde Binghamien bir davranış varken, AAS'lerin reoloji eğrisi Herschel-Bulkley eğrisine uyuyor.

Mekanik dayanımlarda erken yaşlarda (2 günlük) katkısız AAS'lerin, PCM'lere göre düşük oldukları görülüyor. Ancak 7 ve 28inci günlerde bu farklılık kayboluyor ve sıvı/katı oranı düşürülünce katkılı AAS'lerde eğilme

ve basınç dayanımları yükseliyor. Portlandlı (A) PCM'de 28 günde 83mPa, salt su-camlı AAS(B) 78.3mPa, (C1) 71 mPa ve (D) 82mPa değerleri elde ediliyor.

Rötre AAS'lerde PCM'lerin hemen hemen 4 katıdır, küçük çaplı boşlukların AAS'lerde çokluğu (kılcal gerilme yüksek) ve silikat jellerinin su içeriğinin yüksekliği buna yol açabilir. Ancak AAS'ler kendi aralarında karşılaştırıldığında SRA ve v katkılarının çok olumlu bir iyileşme sağladıkları saptanıyor.

Dürabilite açısından PCM'lerde karbonatlaşma derinliği 1mm'de kaldığı halde AAS'lerde bu derinlik çok yüksektir. SRA ve v katılımlı harç bünyesinin korunmasını da sağlamamışlar, ancak karbonatlaşma PCM'lerde basınç dayanımlarını yükseltmiş AAS'lerde ise anlamlı düzeyde bir azalmaya yol açmamıştır. Yüksek sıcaklıkta ise AAS'lerin kalıcı dayanımları daha yüksek olabilmıştır, ve bu durum tüm sıcaklıklar için söylenebilir. Örneğin 300°C de PCM'lerde kalıcı dayanım yüzdesi %72 iken SRA içeren AAS'lerde %90'dır.

Bu bildiri ülkemizde beton teknolojisi ve uygulanması yönünden yeterince araştırılmayan bir yapı malzemesi problemini hatırlattı.

Türkiyenin üç yanı denizlerle kaplıdır, buralarda üretilecek çok sayıdaki beton yapıların dürabilite sorunlarının çözümünde bağlayıcı maddenin türü en önemli etkinliği taşır. Bu bağlayıcı madde yüksek fırın cürufudur. Artık yüksek fırın cürufunu kompoze çimento üretmede kullanılan bir puzolonik mineral katkı saymak doğru değildir; çünkü deniz suyuna dayanıklı bağlayıcının % 80'i yüksek fırın cürufu, %10'u Portland çimentosu veya kireç, % 10'u silis dumanıdır. Portland çimentosu sadece kireç salıvermesi ve cürufun aktivite kazanması için karışıma katılır. Bu bildiride çimentonun görevinin alkalın bir madde olan su camı ile yerine getirildiği anlatılmaktadır. Sonuçlar, dayanım, dürabilite, işlenebilme yönünden yüksek fırın cürufu harçlarının yeterliliğini hatta üstünlüğünü kanıtlamaktadır. Ayrıca cürufta alkalinitenin artması cüruf kalitesinin, indis'lerinin yükselmesine, mükemmel bir su ve Cl⁻ geçirimsizliği sağlamasına imkan verir. Ülkemizde maalesef yüksek fırın cürufu salt bir bağlayıcı olarak kullanılmadığı gibi doğal olarak alkalın aktivasyona da başvurulmuyor. Bu kıymetli malzemenin üretilmesi için cüruflarımızın hammaddesi olan cevherin kimyasal, mineral, morfolojik, jeolojik yapısının ve cevher üretme tekniğinin derinliğine araştırılması, cüruf üretimi için endüstriyel tesislerin kurulması gerekir. Ancak bunun için önemli ekonomik koşulların varlığı büyüklüğü ve güçlülüğü elbette olacaktır.

4. YORUMLAR – KONFERANSIN İÇERİĞİ – NİTELİĞİ

Konferansın temel konusu, (SP) süperakışkanlaştırıcılardır. Sadece 4 bildiri, korozyon inhibitörleri, priz hızlandırıcıları, yüksek fırın cürufu aktivikatörleri konularında sunulmuştur. Rötire azaltan (SRA) ve vizkozite düzenleyen (VMA) katkıları, SP'lerden bağımsız araştıran bildirilerin beton birleşimlerinde de SP kullanıldığı görülmüştür.

SP'lerin bu denli ağırlık kazanmaları beton teknolojisindeki taleplerin sonucudur. Çok yüksek dayanımlı betonlar (VHSC) ve kendiliğinden sıkışan betonlar (SCC) en güncel isteklerdir. Betonda çok yüksek dayanım, çok yüksek oranda su indirgeme ve çok yüksek işlenebilme, polycarboxylate omurgalı ve polyether yan gruplu ve benzeri suda çözünebilen polimer katkılarıyla (PC) sağlanabilmiştir. Bunlara oranla etkinlikleri sınırlı kalan polynaphthalene, polymelamine ve lignosulphonate türü SP'ler (PNS, PMS, LS) bazen bildirilere mukayese amacıyla kısıtlı düzeyde girmiştir. Mamafih LS'ler için sunulan 2 bildiride bunların fonksiyonel fraksiyonlarının çimento ile uyumlarındaki rolleri incelenmiştir.

PC'ler icat edildikten sonraki ilk çalışmalarda yeni polimer katkıları üretmek için yarışan araştırmacılar vardı. Bu konferansta sadece Çin'de yapılmış bir araştırma bildirisi yeni bir kopolimer öneriyor.

VHSC'ler ve çok düşük S/Ç oranlı betonların halli gereken sorunlarının başında otojen rötire gelir. Bildiriler arasında bu sorunu kısmen çözebilen çok ilginç SP+SRA çalışmaları bulunuyor. SRA'ların ana SP ile sentezlenmesi çok önemli, ancak süreç açıklanmıyor; çünkü ürünler ticaridir. SRA'ların kimyasal yapıları 3 bildiride sadece bilgi olarak veriliyor : glycol'ler, glycol ether türevleri, düşük alcohol alkylene oxyde'ler, polyether serileri,...

Beton teknolojisinin diğer güncel isteği olan SCC'lerin sorunu ise taze haldeki stabilite (kohezyon) problemidir. Bu çok akışkan betonlarda terleme ve segregasyon sakıncaları betonların viskozitesini düzenlemekle çözülür. Bu görev VMA veya VEA katkılarıyla yerine getirilir. Ancak kayma eşiğini (yield stress) küçültmek fakat plastik vizkoziteyi fazla düşürmemek gerekir. VMA, VEA'ların kimyasal birleşimleri polysaccharite'ler, methylcellulose'lar, kationik ve anionik nitelikli tansiyo aktif maddeler, hydroxyle ethyl cellulose, ve doğal bitki sakızlarından (Xandan, Diutan) üretilen ve D-glucose, deglucuronic acid maddelerdir. SCC'lerin VHSC olmaları da istenir, bu durumda SP+SRA+VMA terkibi gerekir; bu birleşim, hybrid (melez) SP olarak, 239.31 sayılı Saito, Kinoshita, Okada, Nawa'nın başarılı bildirisinde sunulmuştur.

SP'ler alanında incelenen üçüncü grup çalışmalar SP-Çimento uyumu problemleridir. Genellikle bu problem bir işlenebilme sorunu olarak düşünülür; bu yaklaşım elbette eksik ve yanıltır. Sülfatların, özellikle alkali sülfatların, klinkere katılan priz düzenleyici sülfatların etkileri ile SP'lerin C_3A ve C_4AF ürünlerinin hidratasyon süreçleri, süreleri ve morfolojilerine etkileri bildirilerde deneysel ve teorik yönden incelenmiş ve irdelenmiştir. K_2SO_4 'ün syngenite oluşumu nedeniyle, Na_2SO_4 'den daha zararlı olduğu, PC'lerin sülfatlardan ve C_3A sürecinden PNS'lere oranla daha çok etkilendiği ilginç bulgulardır.

Bilimsel nitelikli nanostrüktürel sayılabilecek çalışmalar, araştırmacı, laboratuvar ve alet donanımı yönünden zengin olan büyük katkı üretici firmalar tarafından yapılmıştır. Eğitim kurumları dahi ikinci planda kalmıştır. Uygulamadan, inşaat mühendislerinden gelen bildiri yoktur, bu konferansın eksikliğidir.

Uluslararası konferanslarla bilgilerini artırmak, yeni oluşumları öğrenmek ve fiilen bildiri sunarak katılmak beton teknolojisi alanında çalışanların görevi olmalıdır.

REFERANSLAR

1. Pekmezci, Bekir, 2006, Yüksek Performanslı Çimentolu Ürünlerin Otojen Rötire Özellikleri, Doktora Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü
2. Akçay, Burcu, 2006, Effects of Lightweight Aggregates on Autogenous Deformation and Fracture of High Performance Concrete, Doktora Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü
3. Özdemir, Nedim, 1998, Radyoaktif Atıkların Saklanması Zeolit ve Bentonitin Kullanılması, Doktora Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü

İŞLENEBİLİRLİĞİ İYİLEŞTİRMEDE SÜPER AKIŞKANLAŞTIRICI KULLANIMI

Caner ARSLANTÜRK

İnş. Yük. Müh.
Karadeniz Teknik Üniversitesi
İnşaat Mühendisliği Bölümü
Trabzon

Şakir ERDOĞDU

Prof. Dr.
Karadeniz Teknik Üniversitesi
İnşaat Mühendisliği Bölümü
Trabzon

ÖZET

Transmikserin arızalanması, trafikteki muhtemel tıkanmalar ve benzeri nedenlere bağlı olarak betonun şantiyeye ulaşımı çoğu zaman hedeflenen sürede mümkün olmaz. Taşıma sırasında meydana gelen gecikmelerden dolayı beton içerisindeki karışım suyunda bir miktar buharlaşma olmakta ve sonuçta betonun çökmesi hedeflenenden daha az olmaktadır. Çökme kaybı nedeniyle işlenebilirliği kötüleşen betonun kalıbına yerleşmesi ve sıkılanması güçleşmekte ve sonuçta betonun dayanımı olumsuz etkilenmektedir. Arzu edilen mühendislik özelliklerine sahip bir beton üretmenin ilk adımı şantiyeye teslim edildiğinde betona yeterli işlenebilirliği kazandırmak olmalıdır.

Çalışmada, uçucu kül ve silis dumanı içeren C25/30 sınıfı betonlar üretilmiş ve 30, 60 ve 90 dakika süreyle karıştırıldıktan sonra sırasıyla sıcaklık, çökme ve hava içerikleri ölçülmüştür. Bu süreler sonunda meydana gelen çökme kayıplarını başlangıç çökmesine eşit kılacak şekilde iyileştirmek için ASTM C 494 F tipi süper akışkanlaştırıcı katkı maddesi kullanılmıştır. Araştırma sonunda meydana gelen çökme kayıplarını iyileştirmek için beton bileşimine bağlı olarak ilave edilmesi gereken süper akışkanlaştırıcı miktarı belirlenmiş ve bu mayanda uçucu kül ve silis dumanı içeren betonların çökme kayıplarını iyileştirmede süper akışkanlaştırıcının etkinliği belirlenmiştir. Her bir karıştırma dönemi sonunda kıvam iyileştirmesi yaptıktan sonra 15 cm küp numuneler alınmış ve 28 günlük basınç dayanımları ölçülmüştür. Çalışma sonunda silis dumanı içeren betonların 28 günlük basınç dayanımlarının diğer karışımlara kıyasla daha yüksek çıktığı belirlenmiştir.

GİRİŞ

Şantiyede taze betonda meydana gelen çökme kaybı betonun basınç dayanımını ve durabilitesini etkileyen ana unsurların başında gelmektedir. Betonun transmikser içerisinde uzun süre karıştırılması taze betonun katılaşmasını hızlandırmakta dolayısı ile çökme kaybı artmakta ve bu da betonun işlenebilirliğini azaltmaktadır.

Çökme kaybını betonda zamanla meydana gelen kıvam azalması olarak tanımlamak mümkündür [1]. Bu olay tamamıyla taze betonda mevcut serbest suyun buharlaşmasından kaynaklanmaktadır. Teorik olarak çökme kaybı karıştırma sırasında taze betonda meydana gelen fiziksel ve kimyasal olaylardan dolayı meydana gelmektedir. Betonda mevcut serbest su hidrasyon ve buharlaşmadan dolayı azalır [2]. Bu nedenle hidrasyonun ve buharlaşmanın hızlanması betonda çökme kaybını artırmakta ve bu da kıvamın aynı oranda azalmasına neden olmaktadır. Oluşan çökme kaybının neden olduğu en belirgin olumsuzluk betonun kalıba yeterli sıkılıkta yerleştirilememesidir. Sonuçta, beton içerisindeki boşluk oranı artmakta ve bu da betonun basınç dayanımını azaltmakta; dolayısıyla, betonun porozitesi artırmaktadır [3]. Betonun karıştırılması, taşınması, kalıba yerleştirilmesi, sıkılanması ve yüzey işlemlerinin tamamlanması sırasında geçen süre betonda meydana gelen çökme kaybını belirleyen en önemli unsurdur. Betonda mevcut serbest su geçen süreye bağlı olarak çimentonun hidrasyonu ve buharlaşmaya nedeniyle azalır [4]. Hazır beton sektöründe betonun karma süresini uzatan etmenler; uzun mesafelere beton taşınması, trafik yoğunluğu, transmikserde meydana gelebilecek arızalar ve şantiyede betonun mikserde bekletilmesi olarak sıralanabilir. Bu etmenlere bağlı olarak betonun transmikser içerisinde uzun süre karıştırılmasından dolayı kazan içerisindeki sıcaklık artmakta ve bu da betonda mevcut serbest suyun azalması demektir [5]. Betonun taşınması sırasında karıştırma hızına ve süreye bağlı olarak malzemeler arasındaki sürtünme ve hidrasyon mikser kazanındaki sıcaklığın artmasına neden olur.

Uzun süre karıştırmadan dolayı taze betonda mevcut serbest su azalır; işlenebilirlik kaybı artar ve bu da betonun katılaşmasına neden olur [6]. Şantiyede betonun kalıba uygun olarak yerleştirilmesi ve sonuçta arzu edilen basınç dayanımının sağlanabilmesi için betonun çökmesi santral çıkışındaki çökmeye eşit olmalıdır [7]. Yüzeyinde çeşitli bozukluklara ve yüksek geçirimsizliğine sahip beton dış koşullara bağlı olarak kolay bozulabilmekte ve işlevini kısa sürede yitirebilmektedir. Santral çıkışında betonun başlangıçtaki çökme değeri yüksek tutularak şantiye ortamında meydana gelebilecek olası çökme kayıplarının üstesinden gelinebilir. Fakat

bu yöntem betonun ne zaman boşaltılacağı bilinmediğinden çok güvenilir değildir. Çökme kaybını gidermenin diğer bir yolu ise boşaltmadan hemen önce betona su ve/veya akışkanlaştırıcı katkı maddesi katılmasıdır [8]. Bu olay kıvamın yeniden ayarlanması veya iyileştirmesi olarak da bilinir. Kıvam iyileştirmede su kullanıldığında su/çimento oranı artacağı için basınç dayanımı doğal olarak düşecektir. Bu nedenle bu genellikle tavsiye edilmez. Bundan dolayı su yerine kimyasal ve/veya mineral katkı maddeleri ile kıvam iyileştirmesi yoluna gitmek daha avantajlı görülür [9]. Kıvam iyileştirmenin su ve kimyasal katkı maddesi ile birlikte yapılması durumunda ise basınç dayanımında oldukça düşük miktarda kayıplar meydana gelmektedir [10]. Kıvam iyileştirmesi kimyasal katkı ile yapılması durumunda betonun reolojik özelliklerini değiştirebileceğinden kullanılan katkı maddesi miktarına dikkat edilmelidir [11-13].

DENEYSEL ÇALIŞMA

Amaç ve Kapsam

Araştırmada C25/30 sınıfı mineral katkısız, silis dumanı ve uçucu kül katkılı üretilen beton karışımlarında karıştırma süresine bağlı olarak meydana gelen çökme kayıplarının belirlenmesi ve bu çökme kayıplarının süper akışkanlaştırıcı katkı maddesi kullanmak suretiyle iyileştirmesi amaçlanmıştır. Akışkanlaştırıcı katkı maddesi kullanarak kıvam iyileştirmesi yapılmış beton karışımlarından 15 cm küp numuneler hazırlanmış ve 28 günlük basınç dayanımları ölçülmüş ve karışımlar karşılaştırılmıştır.

Kullanılan Malzemeler

Çalışmada maksimum tane çapı 25 mm olan bazalt ve kalker agregası ve PÇ 42.5 Portland çimentosu kullanılmıştır. Çimentoya ilişkin fabrikaca temin edilen kimyasal bileşim ve bazı fiziksel özellikler Çizelge 1`de verilmiştir. Mineral katkı olarak silis dumanı ve F tipi uçucu kül kullanılmıştır. Silis dumanı ve uçucu küle ait kimyasal bileşimler ve bazı fiziksel özellikler Çizelge 2`de özetlenmiştir. Kıvam iyileştirmesi için yoğunluğu 1.21 kg/l olan ASTM C 494 F tipi melamin esaslı süper akışkanlaştırıcı katkı maddesi kullanılmıştır.

Deney Programı

Hazır beton uygulamalarında beklenmedik çökme kayıplarının yaşanması ihtimali göz önünde tutularak şantiye ortamında sıkıntı yaşanmaması için 20 ± 1 cm çökme hedef olarak belirlenir. Bundan dolayı deneysel çalışmada başlangıç çökme değeri 20 ± 1 cm olarak hedeflenmiştir. Başlangıçta istenen

bu çökme değerini tutturabilmek için toplam bağlayıcı oranının %1 oranında orta düzey akışkanlaştırıcı katkı maddesi kullanılmıştır. Tasarlanan betonlar C25/30 sınıfı; mineral katkısız, %20 uçucu kül ilaveli, %30 uçucu kül ilaveli, 25 kg uçucu kül ikameli ve %10 silis dumanı ilaveli betonlar olup homojen bir karışım elde etmek için bu karışımlar başlangıçta 5 dakika 20 devir/dakika bir karıştırma işleminden sona 30, 60 ve 90 dakikalık karıştırma periyotları uygulanmıştır. Karıştırma sırasında mikserin karıştırma hızı 4 devir/dakika olacak şekilde ayarlanmıştır. Bunun nedeni laboratuardaki mikserin karıştırma hızı ile transmikserin karıştırma hızlarını dengelemek için idi. Her bir karışım için karıştırma süresi sonunda sıcaklık, çökme, hava içeriği ve birim ağırlık ölçümleri yapılmıştır.

Karıştırma süresine bağlı olarak çökme kaybı belirgin bir artış göstermiştir. 30, 60 ve 90 dakikalık karıştırma süreleri sonunda betonun çökmesini 5 dakikalık karıştırma süresi sonundaki çökme değerine (20 ± 1 cm) çekmek için karışıma süperakışkanlaştırıcı katkı maddesi ilave edilmiş ve karıştırmaya belli bir süre daha devam edilmiştir. Karıştırma işlemi tamamlanan taze beton betonyerden alınarak sırasıyla sıcaklığı, çökmesi, hava içeriği ve birim ağırlığı ölçülmüştür. Betonun basınç dayanımını belirlenmesi için üç adet 15 cm küp numune alınmış ve numuneler $20 \pm 1^\circ\text{C}$ sıcaklığında kür havuzunda 28 gün bekletildikten sonra basınç dayanımları tespit edilmiştir.

Çizelge 1. Çimentoya ilişkin kimyasal bileşim ve fiziksel özellikler

Oksit Analizi	
Bileşen	Miktar (%)
CaO (Toplam)	63,41
Serbest CaO	1,20
SiO ₂ (Toplam)	20,22
Çözünen SiO ₂	19,29
Al ₂ O ₃	5,67
Fe ₂ O ₃	2,91
MgO	0,96
SO ₃	2,92
Kızdırma kaybı	3,32
Çözünmeyen kalıntı	0,93
Potansiyel Bileşim (%)	
C ₃ S	51,15
C ₂ S	16,72
C ₃ A	10,1
C ₄ AF	8,86
Fiziksel Özellikler	
Özgül ağırlık (gr/cm ³)	3,07
İncelik (Blaine, cm ² /gr)	3564
200 µ elek üstünde kalan (%)	0
90 µ elek üstünde kalan (%)	1
45 µ elek üstünde kalan (%)	9,3

Çizelge 2. Silis dumanı ve uçucu küle ait kimyasal bileşim ve bazı fiziksel özellikler

Kimyasal Bileşim (%)		
Bileşen	Silis Dumanı	Uçucu Kül
CaO, Toplam	1,09	3,08
SiO ₂ , Toplam	76,66	55,18
Al ₂ O ₃	0,25	19,55
Fe ₂ O ₃	0,65	10,58
MgO	7,98	5,86
SO ₃	1,61	0,7
Na ₂ O	1,38	0,48
K ₂ O	4,43	1,5
Mn ₂ O ₃	0,09	-
TiO ₂	0,22	0,89
Kızdırma kaybı	4,75	1,04
Fiziksel Özellikler		
Özgül ağırlık (gr/cm ³)	2,4	2,09
İncelik (cm ² /gr)	-	2550

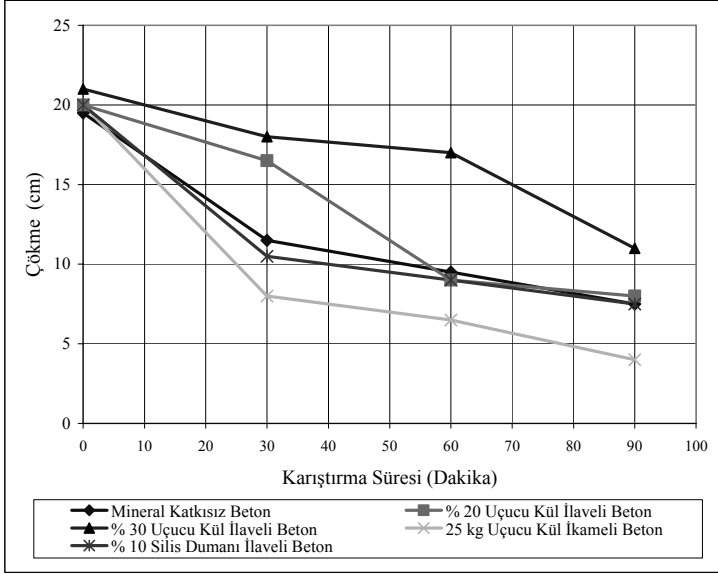
Sonuçlar ve Değerlendirme

Karıştırma Süresinin Çökme Kaybı Üzerindeki Etkisi

Şekil 1`de karıştırma süresine bağlı olarak her bir karışım için ölçülen çökme kayıpları gösterilmektedir.

Karıştırma süresinin uzamasına bağlı olarak beton karışımlarının tümünde ancak farklı mertebede çökme kayıpları meydana gelmiştir.

İlgili şekilden görüleceği üzere karıştırma süresine bağlı olarak çökme kaybının en belirgin olduğu karışım 25 kg uçucu kül ikameli beton karışımıdır. Bunu sırasıyla mineral katkısız ve silis dumanı ilaveli beton karışımları izlemektedir. Çökme kaybının en az olduğu karışım %30 uçucu kül ilaveli beton karışımı olduğu görülmektedir.

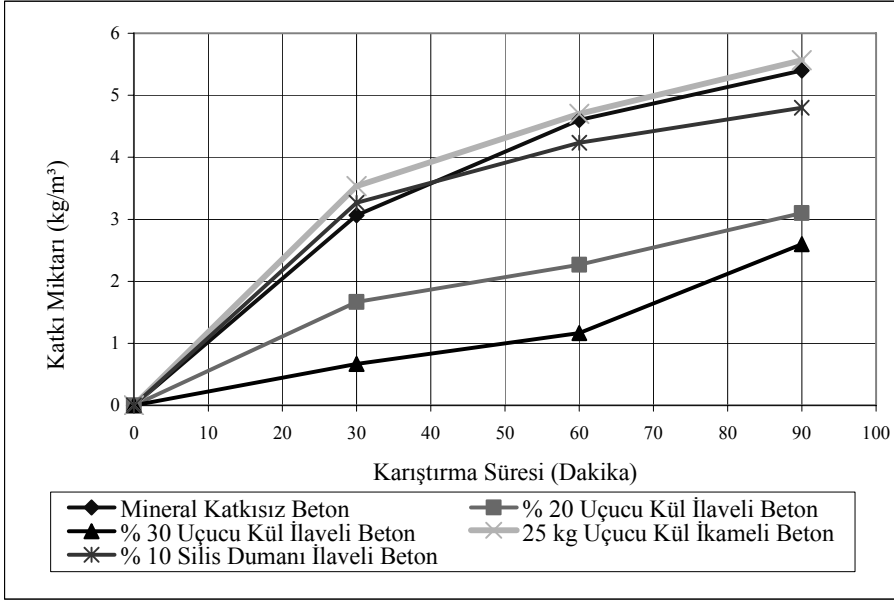


Şekil 1. Kariştirma süresine bağı olarak ölçülen çökme değerleri

Kıvam İyileştirmesi İçin Gereksinim Duyulan Akışkanlaştırıcı Katkı Maddesi Miktarının Belirlenmesi

Her bir kariştirma periyodu sonunda ölçülen çökme değerlerini betonun ilk çökme değerine çekmek için beton karişma bir miktar akışkanlaştırıcı katkı maddesi ilave edildikten sonra homojen bir karişım elde edilinceye kadar kariştirma sağlanmış ve çökme değerleri ölçülmüştür. Çökme değeri hedeflenen değerden küçük olduğu durumda karişma bir miktar daha akışkanlaştırıcı katkı maddesi ilave edilerek bu işlem tekrarlanmıştır. İlgili kariştirma periyotları sonunda ölçülen çökme değerlerini ilk çökme değerine çekmek için beton karişımına ilave edilen akışkanlaştırıcı katkı miktarları Şekil 2`de verilmektedir.

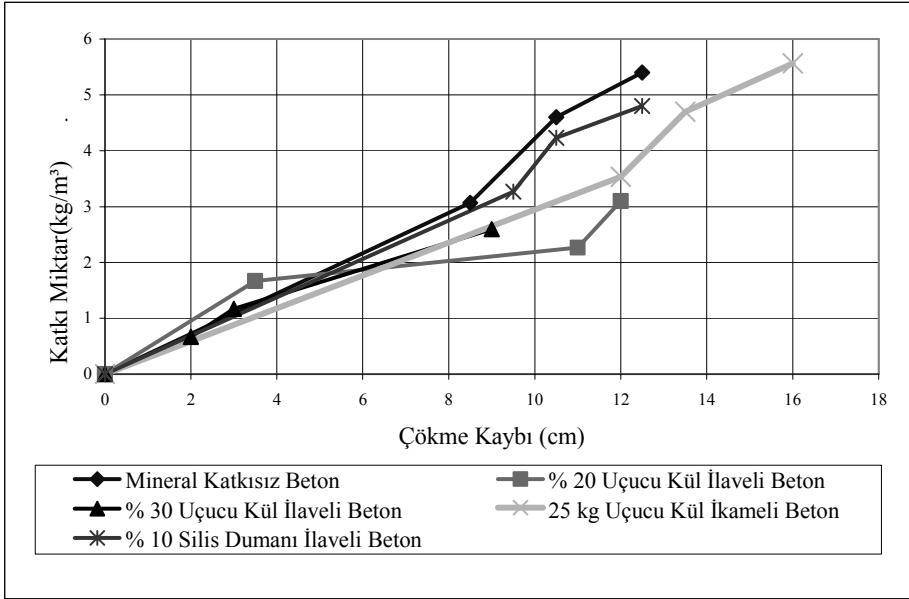
Şekil 1 incelendiğinde kariştirma süresine bağı olarak çökme kayıplarının arttığı ve buna paralel olarak çökme kayıplarını başlangıç çökme değerine çekmek için kullanılan akışkanlaştırıcı katkı maddesi miktarı da Şekil 2`de görüldüğü gibi artış göstermiştir.



Şekil 2. İlgili karışımlara ilave edilen akışkanlaştırıcı katkı maddesi miktarları.

Şekil 2 incelendiğinde karıştırma sürelerine bağlı olarak meydana gelen kıvam kayıplarını başlangıç çökme değerine çekmek için kullanılan katkı maddesi miktarı 25 kg uçucu kül ikameli karışımda en yüksek değere ulaşmıştır. Bunu sırasıyla mineral katkısız karışım ve %10 silis dumanı ilaveli karışım izlemiştir. %10 silis dumanı ilaveli karışımdaki bağlayıcı miktarı mineral katkısız betondakine oranla daha fazla olduğu için daha az miktarda akışkanlaştırıcı katkı kullanımıyla aynı çökme değerleri elde edilebilmiştir. Bunun nedeni akışkanlaştırıcı katkı maddesinin çimento taneciklerin yüzeyini örtmesi sonucu elektrostatik itme gücü oluşturması ve içsel sürtünmeyi azaltması olarak gösterilebilir. Bundan dolayı mineral içeriğin artması aynı işlenebilirliği elde etmek amacı ile daha az miktarda akışkanlaştırıcı katkı maddesi kullanımını gereksinmiştir. %20 ve %30 uçucu kül içeren beton karışımlarında meydana gelen çökme kayıpları daha az olduğundan kullanılan akışkanlaştırıcı katkı maddesi miktarında da belirgin azalma olmaktadır.

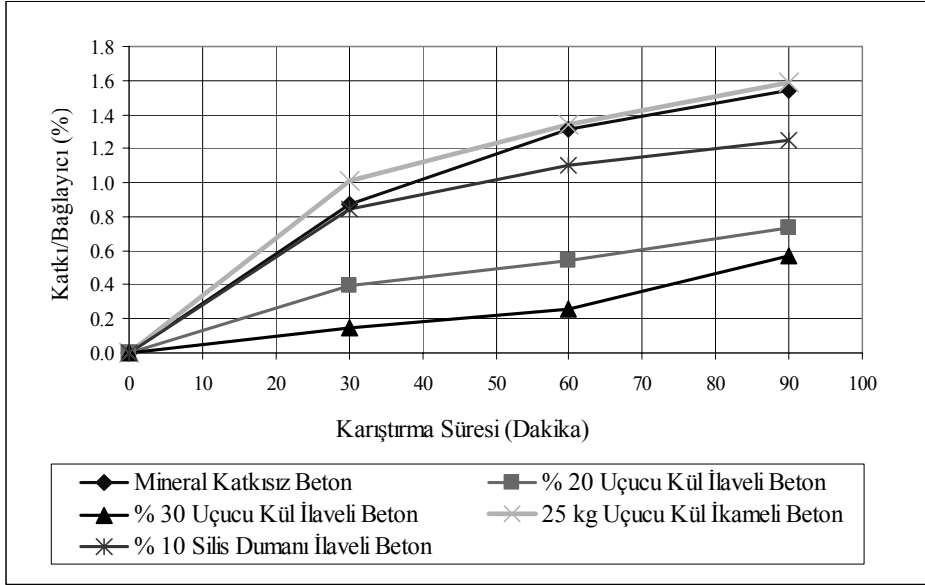
Her bir karıştırma periyodu sonunda ölçülen çökme değerleri ile başlangıç çökmesi arasındaki fark çökme kaybını göstermektedir. Çökme kaybı ile bu kaybın telafisi için gereksinim duyulan akışkanlaştırıcı katkı maddesi miktarları Şekil 3'de özetlenmektedir.



Şekil 3. Çökme kayıplarını başlangıç çökme değerine çekmek için gereksinim duyulan akışkanlaştırıcı katkı maddesi miktarı

30, 60 ve 90 dakika karıştırma süreleri sonunda kıvam iyileştirmek için karışıma ilave edilen akışkanlaştırıcı katkı maddesi miktarının toplam bağlayıcı miktarına oranının zamana bağlı olarak değişimi (% olarak) Şekil 4'de verilmektedir.

Toplam bağlayıcı miktarı dikkate alındığında, bağlayıcı oranının artması betonda uzun süre karıştırma sonucu oluşan çökme kaybının telafisi için kullanılan katkı maddesi miktarını azaltmakta olduğu görülmektedir. Şekil 4'de görüldüğü üzere sırasıyla %30, %20 uçucu kül ve %10 silis dumanı ilaveli betonlarda kıvam iyileştirmesi için kullanılan katkı maddesi miktarları daha azdır. Buna karşın 25 kg uçucu kül ikamelili ve mineral katkısız betonda kıvam iyileştirmesi için kullanılan katkı maddesi miktarı daha fazla olduğu görülmektedir.



Şekil 4. Çeşitli karıştırma süreleri sonunda beton karışımına ilave edilen katkı miktarının toplam bağlayıcıya oranı

SONUÇ

Gerçekleştirilen çalışmadan çıkarılabilecek bazı sonuçlar aşağıda özetlemektedir:

1. Betonun işlenebilirlik kaybı üzerinde karıştırma süresi, beton sıcaklığı ve karışımındaki çimento miktarı önemli rol oynamaktadır. Betonda mevcut su miktarında meydana gelen bu azalma betonun başlangıç çökme değerinin karıştırma süresine bağlı olarak azalmasına neden olan temel faktörlerin başında gelmektedir.
2. Karıştırma süresinin uzamasıyla betonda meydana gelen çökme kaybının temel nedeni çimentonun hidrasyonunun ilerlemesine ve buharlaşma nedeniyle karışım suyunda zamanla meydana gelen azalmaya bağlanabilir.
3. Uçucu kül ilaveli betonlarda uzun süre karıştırma sonundaki çökme kaybı uçucu kül taneciklerinin küresel olmaları nedeniyle nispeten az olmaktadır. Mineral katkısız ve uçucu kül ikamelı betonlarda toplam bağlayıcı miktarında değişme olmadığı için agrega taneleri arasındaki sürtünme artışına bağlı olarak çökme kayıpları da artmıştır. Silis dumanı çok ince taneciklerden oluştuğu için zamanla oluşan çökme kaybı uçucu küllü betonlardakine kıyasla bir miktar daha azdır.

4. Çökme kaybı betonun işlenebilirliğini olumsuz yönde etkilemektedir. Dolayısıyla betonun yerleştirilmesi, sıkılanması ve yüzeyinin düzeltilmesi oldukça güçleşmektedir. Bu nedenle şantiyede betonun işlenebilirliğinin iyileştirilmesi (retempering) kaçınılmaz hale gelmektedir. Kıvam iyileştirmesi su ile yapılması durumunda betonun dayanımında ciddi azalmalar meydana gelmektedir.
5. Kıvam iyileştirmesi süper akışkanlaştırıcı katkı ile yapılması durumunda betonun efektif su/çimento oranında herhangi bir değişme meydana gelmeyeceği için betonun hedeflenen dayanımında bir azalma söz konusu olmamaktadır.
6. Karıştırma süresine bağlı olarak meydana gelen çökme kaybının telafisi için gereksinim duyulan akışkanlaştırıcı katkı maddesi miktarı değişmektedir. Kıvam iyileştirmede kullanılan akışkanlaştırıcı katkı maddesi miktarı 25 kg uçucu kül ikameli be mineral katkısız betonlarda en yüksek değeri alırken, %30 uçucu kül ilaveli betonda en düşük değeri almıştır.

KAYNAKLAR

- [1] Previte, R.W., "Concrete slump loss," ACI Journal, Proceedings, Vol. 74, 1977 pp. 361-367.
- [2] Soroka, I., and Ravina, D., "Hot weather concreting with admixtures," Cement and Concrete Composites, Vol. 20, 1998, pp. 129-136.
- [3] Al-Gahtani, H.J., Abbas, A.G.F., and Al-Amoudi, O.S.B., "Concrete mixture design for hot weather: Experimental and statistical analyses," Magazine of Concrete Research, Vol. 50, 1998, pp. 95-105.
- [4] Ravina, D., and Soroka, I., "Slump loss, compressive strength of concrete made with WRR and HRWR admixtures and subjected to prolonged mixing," Cement and Concrete Research, Vol. 24, 1994, pp. 455-462.
- [5] Ravina, D., "Retempering of prolonged-mixed concrete with admixtures in hot weather," ACI Journal, Proceedings, Vol. 72, 1975, pp. 291-295.
- [6] Meyer, L.M., and Pernechio, F., "Theory of concrete slump loss as related to the use of chemical admixtures," Concrete International, ACI, Vol. 1, 1979, pp. 36-43.

- [7] Ravina, D., "Slump retention of fly ash concrete with and without chemical admixtures," Concrete International, ACI, Vol. 17, 1995, pp. 25-29.
- [8] Kırca, Ö., Turanlı, L., and Erdoğan, T.Y., "Effect of retempering on consistency and compressive strength of concrete subjected to prolonged mixing," Cement and Concrete Research, Vol. 32, 2002, pp. 441- 445.
- [9] Ravina, D., "Effect of prolonged mixing on compressive strength of concrete with and without fly ash and/or chemical admixtures," Materials Journal, ACI, Vol. 93, 1996, pp. 451- 456.
- [10] Erdoğan, Ş., "Effect of retempering with superplasticizer admixtures on slump loss and compressive strength of concrete subjected to prolonged mixing," Cement and Concrete Research, Vol. 35, 2005, pp. 907-912.
- [11] Uchikawa, H., Ogawa, K., Shirasaka, T., and Sawaki, D., "Effect of admixture on hydration of cement, adsorptive behavior of admixture, and fluidity and setting of fresh cement paste," Cement and Concrete Research, Vol. 22, 1992, pp. 1115-1129.
- [12] Hanehara, S., and Yamada, K., "Interaction between cement and chemical admixture from the point of cement hydration, absorption behaviour of admixture, and paste rheology," Cement and Concrete Research, Vol. 29, 1999, pp. 1159-1165.
- [13] Bonen, D., and Sarkar, S.L., "The superplasticizer adsorption capacity of cement pastes, pore solution, and parameters affecting flow loss," Cement and Concrete Research, Vol. 25, 1995, pp. 1423-1434.

KARIŞIM PARAMETRELERİNİN KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONUN TAZE ÖZELLİKLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN BELİRLENMESİ

Levent EROĞLU

İnş. Yük. Müh.

Mustafa ŞAHMARAN

Arş. Gör. Dr.

İ. Özgür YAMAN

Doç. Dr.

Mustafa TOKYAY

Prof. Dr.

Orta Doğu Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü

Ankara, Türkiye

ÖZET

Bu çalışmada, karışım parametrelerinin KYB' nin taze özelliklerine üzerine etkileri, bir istatistiksel deney tasarım tekniği olan “merkezi kompozit tasarım” yöntemi kullanılarak oluşturulan deney programı çerçevesinde araştırılmıştır. Bu amaçla, karışımlarda uçucu kül yüzdesi, su-bağlayıcı oranı, süper akışkanlaştırıcı (SA) ve viskozite düzenleyici katkı (VDK) miktarları deneysel programın değişkenleri olarak belirlenmiş ve yayılma çapı, V-hunisi, L-kutusu ve ayrışma deneyleri “merkezi kompozit tasarım” yöntemi yardımıyla oluşturulan 21 farklı beton karışımı üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bu karışımlardan elde edilen deney sonuçları kullanılarak bahsi geçen deneylerde ölçülen taze beton özelliklerini matematiksel olarak ifade eden anlamlı istatistiksel modeller oluşturulmuştur. Oluşturulan bu modeller uçucu kül yüzdesi, su-bağlayıcı oranı, süper akışkanlaştırıcı ve viskozite düzenleyici katkı oranlarının KYB'nin taze haldeki özelliklerine etkilerini açıklamak için kullanılmıştır. Elde edilen modeller incelendiğinde, beton karışımının su-bağlayıcı oranı, bu çalışmada kullanılan parametreler ile oluşturulan modellerde en yüksek katsayıya sahip olması nedeniyle, KYB'nin yayılma ve dar kesitlerden geçebilme özeliği üzerinde en etkili parametre olduğu görülmüştür. Buna ilave olarak, polikarboksilik eter bazlı süper

akışkanlaştırıcı katkının, KYB'nin yayılma ve dar kesitlerden geçebilme yeteneklerini artırırken, özellikle düşük oranlarda uçucu kül kullanılması durumunda ayrışma direncini düşürdüğü sonucuna varılmıştır.

GİRİŞ

KYB'nin üretiminin ilk olarak 1980'lerin ikinci yarısında Japonya'da geliştirilmesi, sismik bölgelerde yoğun donatılı betonarme elemanlarda sıkıştırma işlemine gerek duyulmadan yerleştirilebilen bir betona olan gereksinimden kaynaklanmıştır [1]. Kendi ağırlığı altında akabilmesi ve kalıba kolayca yerleşebilme özeliği nedeniyle yüksek performanslı beton olarak da tanımlanabilmektedir. KYB'nin kendiliğinden yerleşebilme özelliğinin yanında; imalat süresini kısaltma, işçilik maliyetini düşürme, özellikle yoğun donatılı betonarme elemanlarda betonun kalıba boşluksuz bir şekilde yerleşmesini sağlama ve vibrasyon kaynaklı ses kirliliğini azaltma gibi konvansiyonel betona göre bir çok üstünlüğü vardır.

Uygun bir şekilde tasarlanmış KYB, yeterli akıcılığı sağlamak için düşük akma gerilmesine ve ayrıca ayrışma olmadan homojen bir deformasyon sağlamak için de yeterli bir viskositeye sahip olmalıdır [2]. KYB'de yüksek akıcılık için, yeni nesil süper akışkanlaştırıcı katkıları kullanılmaktadır. Fakat bu katkıların kullanımı KYB'nin ayrışma direncinde bir miktar düşüşe yol açmaktadır. Bu nedenle genellikle karışımlarda süper akışkanlaştırıcı katkı kullanımıyla meydana gelebilecek ayrışmayı azaltmak için ince agrega ve/veya bağlayıcı miktarını artırma yoluna gidilmektedir veya başka bir çözüm yolu olarak süper akışkanlaştırıcı katkıları birlikte, viskosite düzenleyici katkıların kullanımı tercih edilmektedir.

KYB üretiminde kullanılan kimyasal katkı ve bağlayıcı miktarı konvansiyonel betonlara göre daha yüksek olması nedeniyle yüksek maliyetlerle karşılaşmaktadır. Bu yüksek maliyeti azaltma ve kendiliğinden yerleşen beton özelliklerini elde etmenin olası bir yolu ise beton karışımlarında ilave mineral katkı kullanımıdır. Bu konu ile ilgili birçok araştırma mevcuttur ve geçmişte yüksek oranda (% 70'e varan) uçucu kül kullanılarak kendiliğinden yerleşen beton üretimi gerçekleştirilebilmiştir [3, 4].

AMAÇ

Betonun taze özelliklerinin, sertleşmiş betonun dayanımı ve durabilitesi üzerinde çok büyük belirleyici etkileri vardır. Bu durum KYB'de ise daha da fazla bir önem arz etmektedir. Bu nedenle, bu çalışma kapsamında KYB'nin

üretiminde kullanılan bazı temel bileşenlerin KYB'nin taze özelliklerine olan etkileri istatistiksel bir deney tasarım tekniği kullanılarak araştırılmış ve matematiksel ifadelerle bu parametrelerin KYB'nin taze özellikleri üzerindeki etkileri belirlenmiştir. Ortaya konulan modeller ışığında gelecekte mevcut malzemelerle KYB'nin üretimi için gerekli olan deneme karışım çalışmalarının azaltılması planlanmaktadır.

DENEYSEL ÇALIŞMA

Malzemeler

Tüm deneylerde bağlayıcı olarak CEM I 42.5 R portland çimentosu (PÇ) ve Çatalağzı termik santralinden elde edilen F sınıfı uçucu kül (UK) kullanılmıştır. Bu bağlayıcıların bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 1'de sunulmuştur. Ayrıca, deneysel çalışmada kimyasal katkı olarak kullanılan polikarboksilik eter bazlı süper akışkanlaştırıcı katkının (SA) ve sentetik polimer esaslı viskozite düzenleyici katkının (VDK) üreticilerinden elde edilen özellikleri ise Çizelge 2'de verilmiştir. KYB üretiminde iri agrega olarak 3 farklı kırma taş, ince agrega olarak ise doğal dere kumu kullanılmıştır. Bu agregalar değişik oranlarda karıştırılarak maksimum agerega çapı 19.1 mm olan bir agrega karışım gradasyonu elde edilmiştir (Çizelge 3).

Çizelge 1. Çimento ve Uçucu Külün Özellikleri

Kimyasal Kompozisyon	PÇ	UK
CaO (%)	63.27	2.21
SiO ₂ (%)	19.61	54.13
Al ₂ O ₃ (%)	5.86	25.73
Fe ₂ O ₃ (%)	3.40	6.43
MgO (%)	0.95	2.12
SO ₃ (%)	2.45	0.11
K ₂ O (%)	0.54	4.33
Na ₂ O (%)	0.47	0.47
Kızdırma Kaybı (%)	3.02	1.34
Fiziksel Özellikler		
Özgül Ağırlık	3.18	2.08
Özgül Yüzey (cm ² /kg)	3629	2890

Çizelge 2. Kimyasal Katkılarının Özellikleri

Özellik	SA	VDK
Görünüm	Sıvı	Sıvı
Renk	Kahverengi	Saydam
Ana Kimyasal Yapı	Polikarboksilik eter	Sentetik polimer
Yoğunluk (20 °C), (g/cm³)	1.04 – 1.05	1.01 - 1.02
pH	6.0 – 8.0	6.0 – 9.0
Önerilen Dozaj (%)	1.0 – 2.0	0.3 -1.5

Çizelge 3. Agregaların Karışım Granülometrisi

Elek Boyutu (mm)	19.1	12.70	9.50	4.75	2.36	1.18	0.60	0.30	0.15
% Geçen	100.0	81.8	65.7	50.4	34.4	22.3	15.3	10.8	8.1

Beton Karışımları, Üretimi ve Deneyleri

Bu çalışmada kullanılan karışım oranları, daha önce de bahsedildiği üzere “merkezi kompozit tasarım” yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Bu tasarım, parametrelerin faktoriyel bir düzende değiştirildiği “iki düzeyli kısmi bir faktoriyel kısım”, aynı karışım oranının tekrarlandığı ve deneylerin tekrarlanabilirliği hakkında bilgi veren bir “merkezi kısım”, ve parametrelerin limit sınırlarının sırayla değiştirilmesiyle oluşturulmuş ikinci dereceden modellerin kurulabilmesine olanak sağlayan bir “uç kısım” olmak üzere 3 bölümden oluşmaktadır. Bu istatistiksel karışım tasarımının detayları 5 nolu kaynakta görülebilir. Merkezi kompozit tasarım (MKT) yöntemi gereği, modellerde bulunacak olan parametreler karışım tasarımı oluşturulmadan önce kodlanarak çalışmada kullanılan bütün parametreler normalize edilmiştir. Bu kodlama işlemi ile ilgili detaylar Çizelge 4’de sunulmuştur. Böylece kurulacak olan modellerdeki parametrelerin girdi aralıkları -1.68 ile 1.68 olacak şekilde aynı tutulmuştur. Çizelge 5’de ise bütün bu istatistiksel deney tasarım yöntemleri ışığında hazırlanmış olan beton karışım oranları sunulmuştur.

Çizelge 4. İncelenen Parametrelerin Limitleri ve MKT'ye göre kodlanması

Gösterimi	Parametre	Limitleri	MKT'ye göre Kodlanmaları				
			-1.68	-1	0	1	1.68
X ₁	% UK	0.00-70.00 %	0.00	14.16	35.00	55.84	70.00
X ₂	% SA	0.50-2.00 %	0.50	0.80	1.25	1.70	2.00
X ₃	% VDK	0.00-1.50 %	0.00	0.30	0.75	1.20	1.50
X ₄	su/bağlayıcı	0.30-0.60	0.30	0.36	0.45	0.54	0.60

Çizelge 5'de gösterilen karışımların hazırlanmasının ardından, KYB'nin akıcılık ve işlenebilirlik özelliklerini belirlemek üzere yayılma çapı deneyi, viskozitesi hakkında bilgi sahibi olmak için V-hunisi deneyi, dar kesitlerden geçebilme yeteneğini belirlemek için L-kutusu deneyi ve ayrışma oranının tayini için de GTM elek stabilitesi deneyi gerçekleştirilmiştir. Sözü geçen bütün bu deneyler, Avrupa Kendiliğinden Yerleşen Beton Çalışma Gurubu tarafından hazırlanan "European Guideliness for Self-Compacting Concrete" KYB ile ilgili standartta anlatılan yöntemlere uygun olarak yapılmıştır [6].

Çizelge 5. Beton Karışım Oranları

Karışım No	UK		SA	VDK		su/bağ.		Beton Bileşenlerinin Miktarları (kg/m ³)					İri Agregat*	Açıklama		
	X ₁	(%)	X ₂	(%)	X ₃	(%)	X ₄	-	Çimento	UK	Su	SA			VDK	İnce Agregat*
1	14.16		0.80		0.30		0.36		429	71	180	4.00	1.50	846	844	Kısmi Faktoriyel Kısım
2	55.84		0.80		0.30		0.54		221	279	270	4.00	1.50	680	678	
3	14.16		1.70		0.30		0.54		429	71	270	4.00	1.50	721	719	
4	55.84		1.70		0.30		0.36		221	279	180	8.50	1.50	795	792	
5	14.16		0.80		1.20		0.54		429	71	270	8.50	1.50	721	718	
6	55.84		0.80		1.20		0.36		221	279	180	4.00	6.00	794	792	
7	14.16		1.70		1.20		0.36		429	71	180	4.00	6.00	835	832	
8	55.84		1.70		1.20		0.54		221	279	270	8.50	6.00	669	667	
9	35.00		1.25		0.75		0.45		325	175	225	8.50	6.00	756	755	Merkezel Kısım
10	35.00		1.25		0.75		0.45		325	175	225	6.25	3.75	758	755	
11	35.00		1.25		0.75		0.45		325	175	225	6.25	3.75	758	755	
12	35.00		1.25		0.75		0.45		325	175	225	6.25	3.75	758	755	
13	35.00		1.25		0.75		0.45		325	175	225	6.25	3.75	758	755	
14	0.00		1.25		0.75		0.45		500	0	225	6.25	3.75	796	794	Uç Kısım
15	70.00		1.25		0.75		0.45		150	350	225	6.25	3.75	719	717	
16	35.00		0.50		0.75		0.45		325	175	225	6.25	3.75	762	760	
17	35.00		2.00		0.75		0.45		325	175	225	2.50	3.75	753	751	
18	35.00		1.25		0.00		0.45		325	175	225	10.00	3.75	762	760	
19	35.00		1.25		1.50		0.45		325	175	225	6.25	0.00	753	750	
20	35.00		1.25		0.75		0.30		325	175	150	6.25	7.50	857	855	
21	35.00		1.25		0.75		0.60		325	175	300	6.25	3.75	658	656	

Deney Sonuçları

Merkezi Kompozit Tasarım kullanılarak belirlenen karışım oranlarına göre hazırlanan taze haldeki betonların üzerinde gerçekleştirilen deneylerin sonuçları Çizelge 6'da özetlenmiştir.

Çizelge 6. Deney Sonuçları

Karışım No	Yayılnma	V-hunisi	L-kutusu	Ayrışma	Açıklamalar
	Çapı (mm)	Akma Süresi (sec)	H ₂ /H ₁ (%)	Oranı (%)	
1	200	NA	0.00	0.00	Kısmi Faktoriyel Kısım
2	775	1.52	0.73	20.20	
3	720	1.79	1.00	23.64	
4	422.5	NA	0.00	1.80	
5	452.5	2.00	0.04	4.35	
6	200	NA	0.00	0.00	
7	200	NA	0.00	0.00	
8	737.5	1.6	0.77	19.80	
9	525	10.02	0.23	8.64	Merkezi Kısım
10	355	11.34	0.04	3.81	
11	420	13.96	0.37	1.14	
12	430	6.66	0.00	5.26	
13	432.5	7.85	0.08	1.57	
14	240	NA	0.00	1.30	Uç Kısım
15	685	3.10	0.75	13.27	
16	270	NA	0.00	0.76	
17	555	6.81	0.35	7.87	
18	610	3.57	0.60	6.31	
19	255	NA	0.00	1.57	
20	200	NA	0.00	0.00	
21	810	1.25	0.87	27.88	

İSTATİSTİKSEL ANALİZ VE MODELLER

Merkezi Kompozit Tasarım kullanılarak hazırlanan beton karışımlarında yapılan deneysel çalışmalar sonrasında elde edilen sonuçların istatistiksel analizleri en küçük kareler yöntemi yardımıyla gerçekleştirilmiş, ve elde edilen modellerin bir özeti Çizelge 7'de sunulmuştur. Oluşturulan modellerin doğruluğunu kontrol için ANOVA analiz tabloları oluşturulmuştur. Ayrıca model parametrelerinin katsayılarının üzerlerinde birbirlerinden bağımsız olarak "t istatistik" analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu analizlerin detayları 5 nolu kaynakta görülebilir. Çizelge 7'den görüldüğü üzere korelasyon

katsayıları (R^2) tüm önerilen modeller için yaklaşık % 75'in üzerindedir. Bu yüksek R^2 değerleri önerilen modellerin, deneysel verileri açıklamada yeterli güvenilirlikte olduğunu göstermektedir.

Çizelge 7. Elde Edilen İstatistiksel Modeller

İlgili KYB Özellği	Önerilen İstatistiksel Model	R^2 (%)
Yayılma Çapı (cm)	$S.F.D. = 45.21 + 9.60X_1 + 6.82X_2 - 8.23X_3 + 19.68X_4$	93.9
V-hunisi Akma Süresi (s)	$1/(V\text{-hunisi akma s.}) = 0.083 + 0.076X_1 + 0.029X_2 - 0.066X_3 + 0.243X_4 + 0.031X_1^2 + 0.119X_4^2 - 0.075X_1X_2 + 0.025X_1X_3 + 0.068X_1X_4$	99.2
Ayrışma Oranı (%)	$A.O. = 4.88 + 2.49X_1 + 2.39X_2 - 2.16X_3 + 8.28X_4 + 3.42X_4^2 - 2.24X_1X_2 + 2.14X_1X_3$	94.2
L-kutusu Yükseklik Oranı (%)	$L\text{-kutusu Y.O.} = 0.28 + 0.13X_1 + 0.12X_2 - 0.14X_3 + 0.29X_4$	73.7

Yayılma Çapı

Yayılma deneyi ile tespit edilen yayılma çapı verileri kullanılarak yapılan analizler sonrasında elde edilen yayılma çapı modeli Denklem 1'de gösterildiği üzere birinci dereceden lineer bir denklemdir.

$$\text{Yayılma Çapı (cm)} = 45.21 + 9.60X_1 + 6.82X_2 - 8.23X_3 + 19.68X_4 \quad (1)$$

Denklem 1'den görüldüğü üzere, uçucu kül yüzdesi (X_1), süper akışkanlaştırıcı yüzdesi (X_2) ve su-bağlayıcı oranı (X_4) arttıkça yayılma çapı artmaktadır. Diğer taraftan viskozite düzenleyici katkı oranının (X_3) artması durumunda ise yayılma çapında bir azalma gözlenmektedir. Elde edilen denklemde su-bağlayıcı oranının katsayısının (19.68) diğer katsayılardan daha yüksek olmasından dolayı, su-bağlayıcı oranının, yayılma çapı üzerinde bu çalışmada incelenen parametreler arasında en etkisi olduğu söylenebilir.

V-hunisi Akma Süresi

EFNARC'ın KYB'ler için hazırladığı standartta göre yapılan V-hunisi deneylerinden elde edilen datalar incelendiğinde bazı karışımlar için V-hunisi akma zamanı elde edilememiştir. Dolayısı ile istatistiksel analiz için yeteri kadar data elde amacıyla V-hunisi akma sürelerinin tersi alınarak, V-hunisinden akmayan karışımların $1/(V\text{-hunisi akma süresi})$ değerleri sıfır olarak alınmış ve analizler böylelikle gerçekleştirilmiştir. V-hunisi ile ilgili model Denklem 2'de sunulmuştur.

$$1/(V\text{-hunisi akma süresi}) = 0.083 + 0.076X_1 + 0.029X_2 - 0.066X_3 + 0.244X_4 + 0.031X_1^2 + 0.119X_4^2 - 0.075X_1X_2 + 0.025X_1X_3 + 0.068X_1X_4 \quad (2)$$

Daha önce bahsi geçen ve modellerin doğruluğunun kontrolünde kullanılan ANOVA analizi bu model için de gerçekleştirilmiş ve modelin istatistiksel olarak anlamlı olduğu ispat edilmiştir. Ancak, elde edilen model ikinci dereceden terimler içerdiği ve V-hunisi akma süresinin tersinin alınması gibi bir yaklaşım uygulandığından bu modeldeki parametrelerin V-hunisi akma süresi üzerindeki etkileri diğer modellere göre zordur. Denklemden verilen sadece birinci derecedeki katsayılar dikkate alındığında, uçucu kül yüzdesi, süper akışkanlaştırıcı yüzdesi ve su-bağlayıcı oranı arttıkça V-hunisi akma süreleri azalmakta viskozite düzenleyici katkı oranının artması durumunda ise akma süresi artmaktadır. Elde edilen denklemden görüldüğü üzere, yayılma çapı sonuçlarında olduğu gibi, su-bağlayıcı oranının, V-hunisi akma süresi sonuçlarını belirleyen en etkili parametre olduğu sonucuna varılmıştır.

Ayrışma Oranı

Ayrışma deneyi sonucunda elde edilen datalar yine istatistiksel analizler kullanılarak Denklem 3 elde edilmiştir. Daha önce bahsi geçen kontrol yöntemleri bu model için de kullanılarak doğruluğu test edilmiştir.

$$Ayrışma Oranı (\%) = 4.88 + 2.49X_1 + 2.39X_2 - 2.16X_3 + 8.28X_4 + 3.42X_4^2 - 2.24X_1X_2 + 2.14X_1X_3 \quad (3)$$

Yukarıdaki denklem incelendiğinde parametrelerin ikili ilişkilerinin ve kareli terimlerin de denklemden mevcut olduğu görülmektedir. Böyle ikinci dereceden bir modeli açıklamak için ya üç boyutlu yüzey grafikleri çizilmeli ya da denklemden bazı parametreler sabit tutularak diğerlerinin etkileri araştırılmalıdır. Bu nedenle denklem parametrelerinden 2 tanesi sabit tutulup kontur diyagramları elde edilmiştir. Bu diyagramlar hakkında ayrıntılı bilgiye 5 nolu kaynaktan ulaşılabilmektedir. Elde edilen model kullanılarak çizilen kontur diyagramları ışığında, % 50 oranından uçucu kül kullanılması durumunda süper akışkanlaştırıcı oranındaki artış, ayrışma oranında bir artışa yol açmaktadır. Fakat % 50 oranından fazla uçucu kül kullanılması durumunda süper akışkanlaştırıcının ayrışma üzerindeki bu negatif etkisi ortadan kalkmaktadır. Ayrıca viskozite düzenleyici katkı kullanımı da ayrışmayı önemli ölçüde azaltmaktadır. Diğer taraftan su-bağlayıcı oranındaki artış ise ayrışma oranını artırmaktadır.

L-kutusu Yükseklik Oranı

Yapılan L-kutusu deneylerinde EFNARC KYB standartında belirtildiği üzere ölçülen H_1 ve H_2 yükseklikleri kullanılarak H_2/H_1 oranı hesaplanmış ve bu değerler analiz aşamasında kullanılarak Denklem 4 elde edilmiştir.

$$\text{L-kutusu Yükseklik Oranı (\%)} = 0.278 + 0.126X_1 + 0.116X_2 - 0.141X_3 + 0.293X_4 \quad (4)$$

Denklem 4 incelendiğinde viskosite düzenleyici katkı oranı (X_4) hariç diğer tüm parametrelerin, L-kutusu yükseklik oranı üzerinde pozitif etkisi vardır. Dolayısı ile uçucu kül yüzdesi süper akışkanlaştırıcı oranı ve su-bağlayıcı oranındaki artışlar KYB'nin dar kesitlerden geçebilme yeteneğini artırırken, viskosite düzenleyici katkı oranındaki artış ile azaltmaktadır. Ayrıca modeldeki parametrelerin katsayıları incelendiğinde en etkili parametrenin yine su-bağlayıcı oranı olduğu sonucuna varılabilmektedir.

SONUÇ

Yapılan deneysel çalışmalar ve istatistiksel analizler ışığında elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

1. Bir deney tasarım tekniği olan “merkezi kompozit tasarım” yöntemi kullanılarak KYB'nin yayılma çapı, V-hunisi akma süresi, L-kutusu yükseklik oranı ve ayrışma oranı ile ilgili istatistiksel modeller elde edilmiştir ve bu modeller kullanılarak ileride üretilmesi düşünülen KYB'lerin üretiminden önce taze özelliklerinin belirli bir güven aralığında tahmini mümkün olacaktır.
2. Su-bağlayıcı oranı KYB'nin akıcılığı ve dar kesitlerden geçebilme yeteneği üzerinde kurulan modellerdeki parametrelerle karşılaştırıldığında en etkili parametre olduğu görülmüştür.
3. Bu çalışmada kullanılan uçucu kül KYB'nin akıcılığını, dar kesitlerden geçebilme yeteneğini ve ayrışma direncini artırmıştır. Ayrıca uçucu külün kendiliğinden yerleşebilme özelliklerini elde etmek için gerekli süper akışkanlaştırıcı miktarını azaltmada kullanılabileceği ve böylece KYB'nin kimyasal katkı kullanımı nedeniyle ortaya çıkan yüksek maliyetini azaltmada kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.
4. Polikarboksilik eter bazlı süper akışkanlaştırıcı katkı beton karışımlarının akıcılığını ve dar kesitlerden geçebilme yeteneğini

artırmıştır. Öte yandan, özellikle düşük oranlarda uçucu kül kullanımı durumunda ise beton karışımlarının ayrışma direncini azaltmıştır.

5. Sentetik polimer esaslı viskozite düzenleyici katkı ayrışma oranını önemli ölçüde azaltmıştır, ancak akıcılık ve dar kesitlerden geçme yeteneği üzerinde olumsuz etkilere yol açmıştır.

KAYNAKLAR

1. Okamura H., Ouchi M., Self-Compacting Concrete, *Journal of Advanced Concrete Technology*, V.1 No.1, 5-15, 2003
2. Khayat, K. H., Workability, Testing and Performance of Self-Consolidating Concrete, *ACI Materials Journal*, Vol. 96, No.3, 346-353, 1999.
3. Bouzoubaa, N., Laclemi, M., Self-Compacting Concrete Incorporating High Volumes of Class F Fly Ash Preliminary Results, *Cement Concrete Research*, Vol. 31 No. 3, 413-420, 2001.
4. Şahmaran, Yaman İ. Ö., Tokyay M., Development of High Volume Low-Lime and High-Lime Fly Ash Self Consolidating Concrete, *Magazine of Concrete Research*, (Basımda).
5. Eroğlu, L., Modelling the Fresh Properties of Self Compacting Concrete Utilizing Statistical Design of Experiment Techniques, *METU*, MS Thesis, Ankara, Turkey, 2007.
6. European Guidelines for Self Compacting Concrete, *Self-Compacting Concrete European Project Group*, 2005.