

SÜPERAKIŞKANLAŞTIRICI KATKILARIN TAZE BETON İŞLENEBİLMESİNDEKİ SORUNLARI

M. Süheyl AKMAN

**İstanbul Teknik Üniversitesi - İnşaat Fakültesi
İstanbul**

ÖZET

Süperakışkanlaştırıcı katkıları(SP), vibrasyona gerek duymadan yerleşebilen akıcı-plastik yüksek performanslı betonlar (YPB) elde etmeye olanak sağlarlar. Ancak bu betonların taze halde çökme kaybı, segregasyon ve diğer kimyasal ve mineral katkılarıyla etkileşim sorunları vardır.

Bu bildiride literatür taramalarına ve yapılan deneysel çalışmalara dayanılarak bu sorunlar incelenmiştir. Süperakışkanlaştırıcı ve çimento türlerinin olaylardaki etkileri ile uçucu kül, silis dumanı ve ikincil kimyasal katkıların ilâvesi ile ortaya çıkan problemler tartışılmıştır. İkincil katkıları hava sürükleyiciler, suda yıkanmayı önleyen katkıları, pompalama katkıları ve korrozyon inhibitörleridir.

Betonlar üzerinde yapılan çökme ve çökme kaybı test sonuçları ile bu betonların harç fazlarında yapılan reolojik deney sonuçları özet olarak sunulmuştur.

Anahtar kelimeler: süperakışkanlaştırıcı, işlenebilme, çökme kaybı, segregasyon, silis dumanı, uçucu kül, kimyasal katkıları

1.GİRİŞ

Süperplastifiyan (SP) veya yüksek düzeyde su indirgeyiciler (HRWR) olarak tanımlanan ve sınıflandırılan kimyasal katkılara ülkemizde kısaca süperakışkanlaştırıcı adı verilmektedir. Yüksek düzeyde su indirgeyici (HRWR) olarak kullanılma durumlarında taze betonda akıcı olma koşulu aranmaz, çünkü amaç su/çimento oranını ileri düzeyde düşürerek yüksek basınç dayanımı elde etmektir. Pratik uygulamalarda ise bu katkılarla üretilen betonların hem yüksek dayanımlı, hem de akıcı-plastik olmaları istenir ve bu istek çoğunlukla gerçekleştirilebilmiştir. Bu bakımdan süperplastifiye betonların akıcı kıvamda olduklarını kabul etmek yanlış değildir, böylece bunların taze haldeki sorunları bir bakıma akıcı betonların sorunları ile çakışır.

1.1. İŞLENEBİLMEİNİN REOLOJİK SABİTLERE İFADESİ

Taze betonun işlenebilmesini ölçmek ve sayıyla ifade etmek üzere geliştirilmiş çok sayıda araç ve yöntem vardır. Bunlar standart deneyler olarak yönetmeliklere de girmiştir. Açık ve seçik tanımlanması çok güç, karmaşık bir teknolojik özellik olan işlenebilmenin malzemeye özgü ve uygulamada önem taşıyan iki ana niteliği akıcılığı ve stabilitesidir[1]. Akıcılık, betonun kolay ve az enerji ile karılması, yerleştirilmesi, kalıba boşluksuz doldurulmasıdır, stabilite ise betonun bu işlemler sırasında suyunu ve iri agregasını kaybetmeden homojen kalabilmesidir. Birbiriyle çelişen bu iki özelliği bir optimumda birleştirmek amaçlanan çözümdür. Ne yazık ki standart deneylerin sonuçları böyle bir optimumu bulmaya yetecek düzeyde bilgi vermezler. Ayrıca standart deneyler ancak sınırlı kıvamlar bölgesinde kalan betonlar için güvenilir ve geçerlidirler; örneğin çökme (slump) deneyi kuru ve akıcı betonlarda geçersizdir, Vebe kuru-plastik betonlar için anlamlıdır.

Betonu, işlenebilmenin iki ana niteliği yönünden yorumlamaya imkân veren iki reolojik sabit vardır. Bunları tanımlamak için taze betonu, iri katı parçacıklar içeren bir süspansiyon, ve bu süspansiyonun şekil değiştirme hızı altındaki davranışını Binghamiyen varsaymak gerekir. Bu reolojik modelin iki sabiti kayma eşiği (τ_0) ve plastik viskozite (η_{pl})'dir. η_{pl} akıcılığın tersidir, yani η_{pl} değeri küçük olan bir beton akıcı olacak ve daha kolay yerleştirilebilecektir. Standart çökme değerinin τ_0 'dan etkilendiği ve onunla lineer ters orantılı değiştiği, η_{pl} 'in çökme deneyinde etkili olmadığı gözlenmiştir [2]. Şu halde çökmeleri eşit olan betonların akışkanlıkları eşit olmayabilir; aynı çökmeyi gösteren betonlarda η_{pl} değeri küçük olan, daha akışkan bir beton olacaktır. Öte yandan τ_0 'ları eşit ve bu nedenle çökmeleri eşit betonlardan η_{pl} 'i yüksek olanın stabilitesi daha iyi olacaktır. Su katılımıyla artırılan işlenebilmede τ_0 ve η_{pl} değerleri düşer; SP katılımıyla artırılan işlenebilmede ise τ_0 düşer, η_{pl} 'deki düşüş ise cüz'idir. SP'li betonlar bu bakımdan daha stabil (kararlı) bir davranış sergilerler. Diğer katkıların τ_0 ve η_{pl} üzerindeki etkileri de oldukça farklı nitelikte olur.

τ_0 ve η_{pl} değerleri betonlarda “iki nokta işlenebilme aygıtı” ile saptanır. Harç ve hamurlarda ise klasik koaksiyal bir viskozimetreden yararlanmak mümkündür[3].

1.2. SÜPERAKIŞKANLAŞTIRICILARIN TAZE BETON REOLOJİSİNE ETKİLERİ

Süperakışkanlaştırıcıların en çok tanınan, satılan iki türü vardır : sülfone naftalen ve formaldehit polikondasyon ürünü (SNF) ile sülfone melamin ve formaldehit polikondansesi (SMF). Bunlar dışında modifiye lignosülfonatlar, sülfonik asit esterleri karbohidrat esterleri vb.'de mevcuttur. Makromoleküllerden meydana gelen bu polikondansasyon polimerlerin sülfonatlı kökleri ionize olurlar ve çimento taneleri tarafından adsorplanırlar, ve hemen hemen tüm tekil çimento taneleri aynı elektriksel şarjla yüklenirler. Bu durumda taneler arasında oluşan büyük itme kuvveti tanelerin ayrık kalmasını (dispersionunu) ve çökelmemesini sağlar, bu arada ortamın viskozitesi de, katkı oranı doyma konsantrasyonuna vardığında büyük ölçüde düşer [4,5].

Çimento karma oksitlerinin birleşimi, çimentonun inceliği, katkıların türü, sıcaklık vb. etkiler altında, yukarıda genel hatları verilen davranışta farklılıklar belirir. Ortamda liyofobik hidratların oluşumu, katkı sayesinde değeri düşürülen viskozitenin kısa sürede ilk değerine yükselmesine yol açar ve betonda bu olaya "çökme kaybı" (slump loss) adı verilir. Bu arada tanelerin flokülleşmesi ve çökelmeleri sonucu "terleme" (su kusma-bleeding) değeri de artar ve betonun homojenliği bozulur. Terleme olayı ile birlikte, viskozitenin çok düştüğü ilk aşamada, iri agrega tanelerinin beton kütlelerinden ayrılmaları, yani segregasyona uğramaları homojen yapının bozulmasının bir diğer nedeni olur.

Bu negatif olgular heterojen ve tabakalaşmış bir üretime sebep olurlar: plastik rötre oluşumu ise kontrol edilemez duruma gelebilir. Çökme kaybına gelince, o, taşımayı ve yerleşmeyi engeller; su ilâvesi ile işlenebilme düzeltilmek istenince de YPB'dan beklenen yüksek dayanım ve dayanıklılık gibi nitelikler yitirilir.

2. SP-ÇİMENTO İKİLİSİNİN TAZE BETONDA UYUMLARI

Süperakışkanlaştırıcı katılımıyla işlenebilmede sağlanan artış miktarı ve artan işlenebilmenin uzun süre korunabilmesi, süperakışkanlaştırıcı ve çimento türlerinin ve bunların etkileşimlerinin fonksiyonudurlar .

SP'lerin kararlı ve sürekli etkisi trikalsiyum ve bikalsiyum silikat (C_3S ve C_2S) karma oksitleri üzerindedir. Ancak portland türü çimentoların diğer iki karma oksit bileşenleri olan trikalsiyum alüminat ve tetrakalsiyum alüminoferrit (C_3A ve C_4AF) su moleküllerini büyük bir hızla adsorbe ederler, bu adsorpsiyon sırasında suda çözülmüş olan SP molekülleri de C_3A ve C_4AF tanecikleri tarafından tutulmuş olur. Böylece C_3S ve C_2S 'i etkileyebilecek SP miktarı yetersiz kalır. Su moleküllerini hızla adsorbe eden çimentolar, yüksek reolojik reaktiviteye sahip kabul edilir. Bunlarla su/çimento (S/C) oranları çok düşük ama yüksek çökme veren veya bu çökmeyi uzun süre koruyan betonlar üretilemez, yüzeyleri kısa sürede parlaklaşan bu betonları tekrar SP ilâvesiyle akışkanlaştırmak olanaksızdır[6,7]. Çimentoların inceliğinin artması da bu negatif etkiyi artıran bir faktördür.

C_3A ve C_4AF 'in hidratasyonu ile oluşan ögeler liyofobik karakterdedir, hızla koagüle olurlar, böylece ortamın viskozitesi yükselir, çökme kaybı meydana gelir[8]. Klinker içindeki alkali sülfat miktarı ($CaSO_4$, Na_2SO_4) bu olayda ilginç bir faktördür, bu miktarın optimum bir değeri vardır; optimum değerde koagülasyon azalır, optimum aşıldıkça C_3S ve C_2S yüzeyindeki elektriksel çift tabaka sıkışır ve viskozite gene artar[9].

Çimento-SP ikilisinde başarılı olabilmek ve özellikle çökme kaybı problemini çözebilmek için öneriler geliştirilmiştir. Örneğin SP'nin inşaat yerinde katılması, kademeli katma, geciktirici ilâvesi ve sulu alkalin ortamda yavaş yavaş çözünen polimer katkılardan yararlanma gibi yöntemler vardır [6,10,11]. Bu öneriler dışında uygulamada kolaylıkla gerçekleştirilecek bir yaklaşım, SP'nin karma suyuna karıştırılmadan geciktirilerek katılmasıdır. Böylece su moleküllerini hızla adsorbe eden karma oksit bileşenlerin negatif etkisi azaltılabilmektedir. Bu süre 5-15 dakika veya daha uzun olabilir [12,13].

Taze betonda bir diğer sorun plastik rötre ve erken çatlamalardır. Buharlaştan su, terleme miktarından yüksekse bu rötre meydana gelir. Buna göre terlemenin belli bir değerden yüksek olması plastik rötre riskini azaltabilir. Ancak erken rötre çatlamasında, yüzeysel plastik rötre ve iri agrega oturması birlikte etkin olurlar. Bu bakımdan terleme ile plastik rötre çatlaması arasında somut bir ilişki kurulamamıştır. Mamafih Portland Cement Association'ın ortam sıcaklığı, bağıl nem, beton sıcaklığı ve rüzgâr hızını esas alarak hazırladığı abakta buharlaşma hızı $1 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{h}$ 'ı aştığında plastik rötre riskinin varlığı kabul edilir, terleme hızının bu değer in veya daha güvenilir olarak $0.5 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{h}$ 'ın altına düşmemesi tavsiye edilir [14].

Süperplastifiye betonlarda η_{pl} değeri fazla düşmemekle beraber, akıcı harç ortamında iri agrega tanelerinin segregasyona uğrama olasılığı gene de düşünülmelidir. Çimentonun inceliği, su tutma yeteneği segregasyon üzerinde pozitif etken olabilirler.

3. SP - ÇİMENTO UYUMU ÜZERİNDE DENEYSEL BİR ÇALIŞMA

İstanbul bölgesinde üç çimento fabrikasının ürünleri ile iki kimyasal katkı üreticisi firmanın SP'leri, çökme kaybı, terleme ve segregasyon açısından, İTÜ Yapı Malzemesi

Laboratuvarında araştırılmıştır.

I, II, III olarak kodlandırılan fabrikaların PÇ-42.5, KÇ-32.5 ve TÇ-32.5 çimentoları ile A ve B olarak kodlandırılan katkı üreticilerinin SP-normal ve SP-geciktirici süperakışkanlaştırıcıları (tümü SNF kökenli) kullanılmıştır. Önce 350 kg/m³ çimento dozajlı ve S/C oranı 0.54 olan 7 adet kontrol betonu hazırlanmıştır. Bunların çökmeleri 0-5 cm arasında değişmiştir. Daha sonra bu betonlara 17-18 cm çökme sağlayacak oranda SP katılmıştır, sıvı halde SP katılımları çimento ağırlığına oranla % 0.9 ile % 2.3 arasında değişmiştir. Terlemeler ASTM-C 232 standardına göre belirlenmiş, grafikleri çizilmiştir, keza çökmeler 10 dakika ara ile ölçülmüş ve çökme kaybı diagramları elde edilmiştir. Segregasyon deneyleri, muhtelif seviyelerdeki basınç deneyleri ile saptanmaktadır, kesin sonuçlar henüz alınmamıştır. Bu bildiride elde edilen çökme kayıpları ve terleme değerleri tablolar halinde özetlenmiştir. Çökme kayıpları 67.ci dakika sonundaki kayıp %'leridir. Terleme değerleri ise 1 saat sonundaki terleme miktarlarına dayanılarak hesaplanan ve kg/m².h boyutunda verilen hızlardır. Tablo I'de çökme kayıpları, Tablo II'de terleme hızları verilmiştir.

Tablo-I Çökme kayıpları (%), 67 dak. sonra

Çimento türü	Fabrika kodu	A Kodlu SP üreticisi		B Kodlu SP üreticisi	
		SP normal	SP geciktirici	SP normal	SP geciktirici
PÇ-42.5	I	94.5	76.5	97.1	52.8
	II	77.8	59.8	88.9	77.8
	III	97.2	85.0	100.0	86.8
KÇ-32.5	I	88.9	40.0	86.9	44.5
	II	91.2	93.7	93.7	80.6
TÇ-32.5	I	97.1	71.5	94.1	66.7
	II	88.9	88.2	94.1	86.1

Tablo I ve II'nin ortaya koyduğu gerçek SP-çimento uyumunun sadece çimento ve SP türüne bağlı olmadığı, üreticilerin ve özellikle fabrikaların da önemli rolü olduğudur. Örneğin A katkı üreticisinin SP-geciktirici katkısı tüm PÇ-42.4 çimentoları ile uyumludur. demek yanlıştır; bu uyum terleme yönünde I fabrikası, çökme kaybı yönünde II fabrikası çimentosu ile sağlanmıştır, III fabrikası çimentosu için bu katkı sakıncalı olabilir.

Sonuçlardaki dağılım çok yüksektir. Gruplar için ortalama almak yanıltır. Buna rağmen PÇ-42.5, KÇ-32.5, TÇ-32.5'un SP'ler karşısındaki davranışlarını belirleyebilmek dileğiyle Tablo III'de bu ortalamalar fabrika ayrımı yapılmadan gösterilmiştir.

Tablo -II Terleme Hızları (kg/m².h), ilk saatte

Çimento türü	Fabrika kodu	A Kodlu SP üreticisi		B Kodlu SP üreticisi		Katkısız
		SP normal	SP geciktirici	SP normal	SP geciktirici	
PÇ-42.5	I	1.337	1.076	0.765	1.462	0.595
	II	3.360	1.976	1.307	3.009	1.000
	III	0.418	2.126	0.517	1.369	0.584
KÇ-32.5	I	1.420	2.069	0.641	1.858	0.990
	II	0.099	0.132	0.160	0.138	0.022
TÇ-32.5	I	0.195	0.308	0.144	0.300	0.000
	II	0.162	0.170	0.373	0.211	0.012

Tablo-III Çökme kayıpları ve terleme hızlarının ortalama değerleri

Çimento türü	Deney	A kodlu SP üreticisi		B kodlu SP üreticisi		Katkısız
		SP normal	SP geciktirici	SP normal	SP geciktirici	
PÇ-42.5	Çökme k. (%)	89.8	73.4	95.3	72.5	-
	Terleme (kg/m ² .h)	1.706	1.726	0.863	1.946	0.726
KÇ-32.5	Çökme k. (%)	90.0	66.9	90.3	62.6	-
	Terleme (kg/m ² .h)	0.759	1.100	0.400	0.998	0.506
TÇ-32.5	Çökme k. (%)	93.0	79.9	94.1	76.4	-
	Terleme (kg/m ² .h)	0.179	0.239	0.258	0.256	0.006

Ortalamalara değerlere dayanılarak varılan bazı yaklaşık sonuçlar şöylece sayılabilir:

* SP'nin geciktirici içermesi çökme kaybını % 15-30 mertebesinde iyileştirmektedir. TÇ'ye olan etki minimum düzeydedir.

* Terleme hızları SP katılımıyla artmaktadır. SP-geciktirici türünde bu artış daha belirgindir.

*Terleme hızı PÇ-42.5 için yeterli düzeydedir, hatta sertleşmiş beton özelliklerini bozabilecek kadar yüksek de olabilmektedir. KÇ-32.5'lerin terlemeleri de uygundur. Ancak TÇ-32.5'larda terleme çok azdır, bu durumda plastik rötre oluşumu kaçınılmazdır, SP katılımı durumu yeterince düzeltmemektedir.

4. SP TÜRLERİNİN İŞLENEBİLMEME ETKİSİ

SMF veya SNF kökenli SP'lerin piyasada mevcut ticarî ürünleri başka kimyasal öğeler de içermektedir. Ayrıca bunların katı aktif madde konsantrasyonları da farklıdır; örneğin SMF'lerde konsantrasyon nispeten düşüktür. Bu nedenle ticarî SMF ve SNF'lerin etkileri ve performansları yönünden karşılaştırılmaları yanıltıcı olmaktadır.

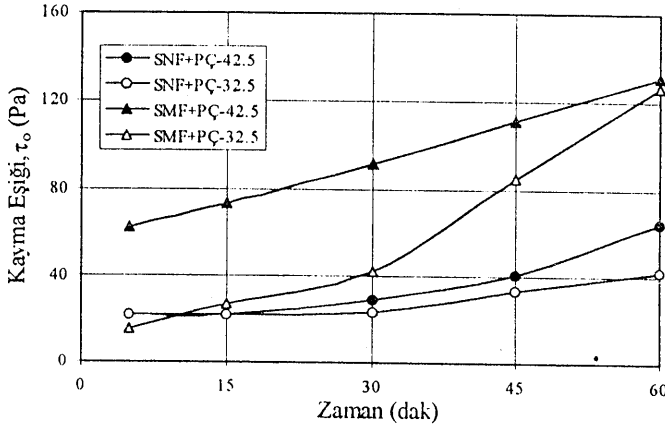
Malhotra ve Malanka'nın Melment L10 (SMF) ve Mighty 150 (SNF) ile yaptıkları deneylerde SMF'in çok daha hızlı bir çökme kaybı gösterdiği tesbit edilmiştir. Maksimum dozajlarda (Melment için çimento ağırlığının % 3'ü, Mighty için % 1.5'i), iki saat sonunda Melment'li beton çökmesi 38 mm'ye, Mighty'li betonunki 50 mm'ye düşmüştür. Başlangıç çökmeleri 260 mm'dir. Her iki katkının sürüklediği hava miktarları ise % 4.0 ve % 3.8'dir[15].

Collepardi ve arkadaşları SNF'in daha iyi bir su indirgeyici olduğunu, geciktirici bir tesir oluşturduğunu ve yüksek dozajlarda daha fazla hava sürüklediğini belirtmektedirler[16].

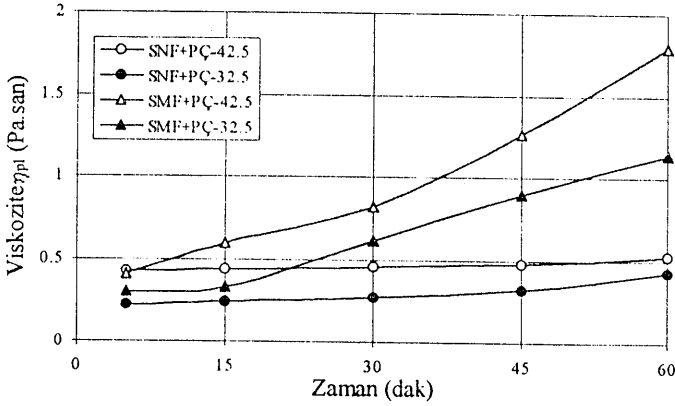
Banfill'de işlenebilmeyi düzeltmek için yapılacak ikinci SP katılımının SMF durumunda 60 dakika, SNF durumunda ise 120 dakika içinde yapılabileceğini öne sürmektedir. Bu bulgu SMF'li betonun daha kısa sürede işlenebilme yeteneğini kaybettiğini kanıtlamaktadır[17].

İ.T.Ü. Yapı Malzemesi Laboratuvarında yaptığımız çalışmada SMF'in ilk dakikalarda hızlı çökme kaybına uğradığını, ancak 67 dakika sonunda bu kaybın SNF'li betonunkinden daha az olduğu gözlemlendi. SMF ve SNF içeren harçlar üzerinde yapılan reolojik testlerde ise τ_0 ve η_{pl} değerlerinin SMF'li harçlarda daha yüksek olduklarını,

ayrıca PÇ-32.5 yerine PÇ-42.5 kullanılmasının bu sabitleri daha da artırdığı tesbit edildi. τ_o ve η_l değerleri bekleme sonucu da anlamlı biçimde artmaktadır. Bkz. Şekil-1



(a)



(b)

Şekil-1 PÇ-42.5 ve PÇ-32.5 ile üretilen YPB'lerde SMF ve SNF katkılarının kayma eşiği (τ_o) ve plastik viskozite(η_{pl}) üzerine etkileri ve bu etkinin zamanla değişimi

5. SP'LERİN DİĞER KİMYASAL KATKILARLA ETKİLEŞİMİ

SP kullanarak üretilen yüksek performanslı betonlar(YPB), her ne kadar üstün özelliklere sahip iseler de, bunların donmaya dayanıklılığını, pompalanabilmelerini, su

altında dökülmelerini ve çeliği paslanmaktan korumalarını garantiye almak dileğiyle bir ikinci kimyasal katkı kullanılması yoluna gidilmektedir. Tablo IV’de bu katkıların adları, fonksiyonları, birleşimleri ve işlenebilme üzerine etkileri verilmiştir [3,18].

Bu tür ikincil kimyasal maddeler ülkemizde henüz tüketici bulamamaktadır. Nitekim araştırmalarımızda bu ürünleri temin etmekte büyük güçlük çekildi; yıkanmayı önleme katkısı bulunamadı, pompalama katkısı ise raf ömrünü doldurmuştu.

Hava sürükleyici katkılarla SP’lerin birlikte kullanılmaları üzerinde çok sayıda araştırma yapılmıştır. SP’lerin daha ziyade τ_0 değerini, hava sürükleyicilerin ise η_{pl} ’i düşürmeleri, her iki katkının birlikte kullanılmaları halinde, su/çimento oranları düşük fakat daha akışkan betonlar elde etmek mümkün olmaktadır. Özellikle kayan kalıplı ve vibrasyonla yerleştirilen betonlarda başarılı sonuçlar alınmıştır[19].

Pompalama katkıları ortamın viskozitesini artırarak betonun pompa içinde homojenliğini yitirmeden iletilmesini sağlamak amacıyla katılırlar. Bu katkıların dozaj artırılırsa hemen hemen hiç çökme vermeyen bir betonla karşılaşılabilir. Laboratuvarımızda S/C oranı 0.42 olan, % 2.5 SNF içeren ve 16 cm çökme veren betonlara üreticinin önerdiği alt sınır olan çimento ağırlığının % 0.2’si ve bunun da yarısı olan % 0.1 oranında pompalama katkısı ilâve edilmiştir, her iki karışımda da çökme sıfır değerine inmiştir. Bu katkılarda raf ömrünün, çimento ile uyumun önemli olduğu düşünülmektedir. Bu betonların harç fazlarında yapılan deneylerde τ_0 ve η_{pl} ’in çok büyük değerler aldığı saptanmıştır.

Yıkanmayı önleyen katkılar da pompalama katkılarına benzer bir kimyasal yapıya sahiptirler. SP ile birlikte kullanılmalarında η_{pl} ’in artmasına karşılık τ_0 değeri azalacağından koheziv ve aynı zamanda plastik bir beton elde edilmektedir. Özellikle Japonya’da büyük uygulamaları olan bu betonlarda akışkanlığın da geliştirilmesi için bir üçüncü katkı olarak hava sürükleyici katkı önerilmektedir. Standart çökme deneyinde koni kaldırıldıktan sonra çökme yavaş bir hızla devam etmekte, ancak yayılma büyük değerler almamaktadır [18,20].

Tablo-IV SP'lerle birlikte kullanılan ikincil kimyasal katkı maddeleri

Katkı adı	Fonksiyonu	Esas maddesi(*)	İşlenebilmeye etkisi (**)	
			τ_o	η_{pl}
Hava sürükleyici (Air entraining agent)	Dona dayanıklılık	Ağaç reçinası Sodyum abietat	(0)	(-)
Pompalama katkısı (Pumping aids)	Kohezyon sağlama Sürtünmeyi azaltma	Sellüloz eter	(0)	(+)
Yıkanmayı önleme katkısı (Anti-wash out admixture)	Su altında beton dökümü Kohezyon sağlama	Sellüloz eter akrilik	(0)	(+)
Korrozyon inhibitörü (Corrosion inhibitor)	Donatı paslanmasını geciktirme	Ca nitrit	(+)	(0)

(*) Esas madde olarak sadece en yaygın olan kimyasal madde adı verilmiştir, daha pek çok tür mevcuttur.

(**) (+) artırır, (-) eksiltir, (0) etkisi anlamlı düzeyde değildir.

Korrozyon inhibitörü olan kalsiyum nitrit aynı zamanda bir priz hızlandırıcıdır. Bu özellik süperplastifiye betonların çökme kaybı sorunu açısından negatif bir etkenidir. Mamafih bazı ticarî korrozyon inhibitörlerine geciktirici ilave edilerek bu sakınca ortadan kaldırılmaktadır[21]. Laboratuvarımızda yapılan çalışmada geciktirici içeren bir inhibitör kullanıldı. Salt SP'li ve SP ile birlikte inhibitör içeren betonların ilk ve son çökmeleri aynı değerlerde kaldılar, inhibitör sadece çökme kayıplarının başlangıçta daha hızlı gelişmesine neden oldu. Betonların harç fazlarında yapılan reolojik testlerde kayma eşiğinin inhibitör katılımıyla zamanla arttığı, buna karşılık viskozitenin cüz'i miktarda azaldığı saptandı.

SP'lerin ikincil katkılarla kullanımının işlenebilme yönünden sakıncalı olmadığı, ancak viskozitenin artmasına yol açan pompalama ve yıkanmayı önleme katkılarında bir üçüncü katkının (çoğunlukla hava sürükleyici) gerekli olduğu anlaşılmaktadır.

6. SP'LERİN MİNERAL KATKILARLA ETKİLEŞİMİ

Silis dumanı (SD), uçucu kül(uK) ve yüksek fırın cürufu (YFC) gibi ince taneli puzolanik mineral katkı maddeleri son yıllarda beton teknolojisinde büyük ilgi çekmekte, çok sayıda araştırmaya konu olmakta ve giderek yaygın düzeyde kullanılmaktadır. Bu

maddeler ekonomik yararları yanında betonun dayanım ve dayanıklılık özelliklerini de iyileştirmektedir. Artık günümüz Amerikan standartlarında bunlar için mineral katkı deyimi terkedilmiştir, "cementitious materials" (bağlayıcı maddeler) adı kullanılmaktadır.

Mineral katkıların yüksek performanslı betonlarda süperplastifiyanlarla birlikte kullanımları doğaldır, ve aslında bu birliktelik sayesinde çok yüksek performanslı betonların üretilebildiği herkesçe bilinmektedir. Sertleşmiş beton aşamasındaki yararlarına karşılık taze beton aşamasında mineral katkıların SP ile uyumları açısından sorunları bulunmaktadır.

Süperplastifiye betonların segregasyon olasılığı düşünüldüğünde, ilk akla gelen önlem, beton karışımında ince tane miktarını artırarak kohezyonu geliştirmektir. İnce taneli malzeme eylemsiz taş unu olabileceği gibi, sertleşmiş halde betona ek nitelikler kazandıracak puzolanik maddeler de olabilir, ve doğal olarak bu ikinci çözüm daha akla yakın ve yararlıdır. Ancak puzolanik maddeler, C_3A ve C_4AF gibi su moleküllerini hızla adsorbe ederlerse, SP'nin etkinliğini azaltabilir ve özellikle çökme kaybını hızlandırabilirler. Bu varsayımın doğruluğu tartışmalıdır, zira puzolanik etki uzun süre sonunda ortaya çıkar ve mineral katkıların taze haldeki etkisi, YFC dışında, incelikleri ve geometrik şekillerinin fonksiyonudur.

SD, uK ve YFC içeren süperplastifiye betonların çökme ve çökme kayıpları üzerine yapılan araştırmalarda elde edilen sonuçları aşağıdaki gibi özetleyebiliriz [22,23,24,25].

SD	çökmeyi artırır (+ pozitif etki),	çökme kaybını azaltır (+ etki)
uK	çökmeyi azaltır (- negatif etki),	çökme kaybını azaltır (+ etki)
YFC	çökmeyi artırır (+ pozitif etki),	çökme kaybını artırır (- etki)

Laboratuvarımızda iki cins portland çimentosu (PÇ-32.5 ve PÇ-42.5), iki cins SP (SMF ve SNF içerikli) ve üç cins siliko-kalsik C tipi uK kullanılarak üretilen betonlarda, çökme, çökme kaybı ve segregasyon sorunları araştırıldı[25].

uK'nın inceliği işlenebilme üzerinde büyük etki oluşturmuştur. İnceliği çok yüksek olan uK ile üretilen betonda istenilen 20 cm çökmeyi sağlamak üzere katılan SP, değerlerinin

SP miktarının 3 katı olmuştur. Çimento dozajının düşük olması durumunda bu miktar 4 katına çıkmıştır. Bu sonuç uK katılımının çökmenin ilk değerini azalttığını kanıtlamaktadır, ancak nispeten iri taneli olan bir uK'da bu negatif durum meydana gelmemiştir. uK'ların hepsi çökme kaybını anlamlı bir şekilde düşürmüşlerdir, en avantajlı sonuç en ince uK'da elde edilmiştir.

Segregasyon konusunu araştırmak üzere 15 cm kenarlı ve 60 cm yükseklikli prizmatik numunelere betonlar sebestçe doldurulmuş, sertleşmeden sonra 15 cm aralıklarla kesilerek, dört farklı seviyeden 15 cm kenarlı küpler çıkarılmış ve bunların 28 günlük basınç dayanımları saptanmıştır. Dayanımlardaki dağılma heterojenliğin ve bir bakıma segregasyonun ölçütü sayılmıştır. Ayrıca iki adet kontrol numunesi üretilmiştir, bunlardan biri su miktarı artırılarak 20 cm çökme veren katkısız bir beton, diğeri normal akışkanlaştırıcı ile 5 cm çökme veren bir betondur. Katkısız beton diğerleri gibi kalıbına sebestçe dökülerek yerleştirilmiş, diğeri ise dalıcı vibratörle sıkıştırılmıştır. Basınç dayanımlarındaki dağılımlara göre varılan sonuçlar şöylece özetlenebilir:

- * En büyük dağılımlar en üst ve en alt seviyelerdedir. Bu terleme ve çökmenin etkisini göstermektedir.
- * Prizma ortalama basınç dayanımından maksimum sapış katkısız sulu betonda %27, vibrasyonla yerleştirilen betonda %10, salt SP içerenlerde %11.5, uK+SP içerenlerde uK türüne bağlı olarak %10.7, %10.5 ve %6.8 olmuştur. Bu değerler 12 deney sonuçlarının ortalamasıdır, sapmalar oldukça yüksektir, her grup içindeki varyasyon katsayıları %6 ile %19 arasında değişmektedir.

Segregasyon açısından süperplastifiye betonların akışkan katkısız betonlardan çok iyi olduğu, ancak plastik vibrasyon betonları kadar başarılı olmadığı, uK katılımının segregasyonu, uygun uK seçmek koşuluyla, düzelterceği söylenebilir.

7. SONUÇLAR

Yüksek performanslı ve işlenebilmeli beton elde etmek üzere kullanılan süperakışkanlaştırıcıların taze beton özelliklerindeki sorunları ve çözümleri aşağıda özetlenmiştir:

- * Süperplastifiye taze betonların sorunları işlenebilme, işlenebilme kaybı, segregasyon ve betonun diğer bileşenleri ile uyumudur.
- * Melamin esaslı SP'ler'in nispeten daha hızlı çökme kaybettikleri, kayma eşiği ve plastik viskozite değerlerini yükselttikleri gözlenmiştir.
- * Geciktirici içeren SP kullanımı işlenebilme kaybını azaltmakta, terlemeyi artırmaktadır.
- * SP beton karma suyuna önceden karıştırılmamalıdır. SP katılımının geciktirilmesi işlenebilme kaybını önleme için zorunludur.
- * SP'nin çimento ile uyumu muhakkak araştırılmalıdır. Traslı çimento ile kullanıldığında yeterli terleme olmadığından plastik rötre riski vardır. PÇ-42.5 ile yüksek terleme olasılığı doğabilir, bu ise betonun üst tabakasının düşük dayanımlı olmasına yol açar.
- * SP-çimento uyumunda en dikkati çeken husus, bu uyumda TS sınıflamasının (PÇ, KÇ, TÇ vb.) yeterli olmadığı, her fabrikanın ürününün her SP ile uyumlu sonuç veremeyeceğidir.
- * SP'lerin ikincil kimyasal katkılarla kullanımında hava sürükleyici katkılar işlenebilme açısından sorun çıkarmazlar. Pompalama ve yıkanmayı önleyici katkılarda viskozite çok artabilir ve işlenebilme kaybolabilir, bu katkıların dozajları dikkatle seçilmeli ve hava sürükleyici katkılarla birlikte kullanılmalıdırlar. korrozyon inhibitörlerinin geciktirici içeren türü seçilmelidir.

* SP'lerin silis dumanı ile kullanımı işlenebilme değeri ve ve kaybı yönünden sorun çıkarmaz. Uçucu küller işlenebilme değerini düşürür, ancak kaybı da azaltırlar. Yüksek fırın cürüfları uçucu külün tam zıddı olarak etkin olurlar.

* SP'li betonlarda segregasyon aşırı değildir. İyi bir granülometriye sahip uçucu kül katarak bu sakınca azaltılabilir.

TEŞEKKÜR

Bu bildirinin deneysel bölümlerinin gerçekleşmesine, İnş. Y. Müh. Kemal T. Yücel'in, yüksek lisans tez çalışması yapan İnş. Müh. Cenk Başeğmez'in ve bitirme ödevlerini bu konuda tamamlayan İnş. Müh.'leri Cengiz Ören, Serdar Güver, A. Akif Emeksiz ve Semih Kayaalp'in özverili çabaları büyük katkı sağlamıştır; Türkiye Hazır Beton Birliği'nde mali desteğiyle yardımcı olmuştur. Bu yardım ve çabalar için kendilerine teşekkürler sunulur.

KAYNAKLAR

1. Akman, M.S., Yapı Malzemeleri , İ.T.Ü. Kütüphanesi 1336 sayılı yayın, 1987, ss.51-54.
2. Scullion, T., "The Meeasurement of the Workability of Fresh Concrete ", MA Thesis, University of Sheffield, 1975.
3. Tattersall, G.H., Workability and Quality Control of Concrete , London, 1991, E.and FN Spon Publ.
4. Glasstone, S., Textbook of Physical Chemistry , Berkeley, 1946, p.1221, 1266, Macmillan Student Ed.
5. Hattori, K., "Experience with Mighty Superplasticizer in Japan", ACI, SP 62, Superplasticizers in Concrete , 1979, pp.37-66.
6. Aitcin , P.C., "L'Emploi des Fluidifiants dans les Bétons à Hautes Performances" Les Bétons à Hautes Performances, du Matériau à l'Ouvrage , Edit. Malier Y., Presses de l' Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, 1990,Cachán, pp. 31-49.
7. Hanna, E., Luke, K., Perraton, D., Aitcin, P.C., "Rheological Behaviour of Portland Cement in the Presence of a Superplasticizer", ACI SP - 119 - 9, 1989, pp. 171-188.
8. Fukuda, M., Mizunuma, T., İzumi, T., İzuka, M., Hisaka, A., "Slump Control and Properties of Concrete with a New Superplasticizer", Proc. RILEM Int. Symp. on

Admixtures for Concrete, Improvement of Properties, Chapman & Hall Ed., Barcelona, 1990, pp. 10-19.

9. Nawa, T., Eguchi H., Fukuya Y., "Effect of Alkali Sulfate on the Rheological Behaviour of Cement Paste Containing a Superplasticizer ", ACI SP - 119 - 21, 1989, pp. 405-424.

10. İzumi, T., Mizunuma, T., İzuka, M., Fukuda, M., "Slump Control with Reactive Polymeric Dispersant ", ACI SP - 119 - 13, 1989, pp. 243-262.

11. Beaudoin, J.J., Ramachandran, V.S., "Effect of Water Dispersible Polymers on the Properties of Superplasticized Cement Paste, Mortar and Concrete", ACI SP - 119 - 12, 1989, pp. 221-242.

12. Zakka, Z., Carasquillo, R.L., Farbiarz, J., "Variables Affecting the Plastic and Hardened Properties of Superplasticized Concrete", 3rd. CANMET/ACI Int. Conf. on Superplasticizers and Other Chemical Admixtures in Concrete , Ottawa, 1989, Suppl. Papers pp. 180-197.

13. Chiocchio, G., Paolini, A.E., "Optimum Time for Adding Superplasticizer to Portland Cement Paste", Cem. and Conc. Research, V15, N5, 1985, pp. 901-908.

14. Mindess, S., Young, J.F., Concrete , N.J. Prentice - Hall Inc., 1981, pp. 481-485, pp. 210-212.

15. Malhotra, V.M., Malanka, D., "Performance of Superplasticizers in Concrete : Laboratory Investigation - Part I", ACI SP - 62 - 12, 1979, pp. 209-243.

16. Collepardi, M., Monosi, S., Valante, M., "Optimization of Superplasticizer Type and Dosage in Fly Ash and Silica Fume Concretes", ACI SP - 119 - 22, 1989, pp. 425-443.

17. Banfill, P.F.G., "Workability of Flowing Concrete", Mag. of Concrete Research, V32, N110, 1980, pp. 17-27.

18. Paillère, A.M., Editor, Application of Admixtures in Concrete , RILEM Report 10, E & FN SPON, London, 1995.

19. Helland, S., "Slipforming of Concrete with Low Water Content", Concrete Rev, V18, Dec. 1984, pp. 19-21.

20. Kawakami, M., Wada, S., Suzukawa, K., "Effects of Chemical Admixtures on Colloidal Underwater Concrete", ACI SP - 119-26, 1989, pp. 493-516.

21. Gianneti, F., Akman, M.S., "Betonarmenin Dayanıklılığını Geliştirmek Üzere Korrozyon İnhibitörü Olarak Kalsiyum Nitrit Kullanımı", IV. Korrozyon Sempozyumu, İ.T.Ü., 1994, s.107-114.

22. Joshi, R.C., Day, R.L., Langan, B.W., Ward, M.A., "Engineering Properties of Concrete Containing High Proportions of Fly Ash and Other Mineral Admixtures", 2nd.

CANMET/ACI Int. Conf. Fly Ash, Silica Fume, Slag, and Natural Pozzolans in Concrete, Madrid, 1986, Suppl. Papers, 20.

23. Malhotra, V.M., "Strength and Durability Characteristics of Concrete Incorporating a Pelletized Blast Furnace Slag", ACI SP - 79 - 48, 1983, V2, pp. 891-921.

24. Nishibayashi, S., Yoshino, A., Hideshima, S., Takada, M., Chicada, T., "A Study on Superplasticized Concrete Containing High Volumes of Blast Furnace Slag", ACI SP - 119 - 33, pp. 445-455.

25. Akman, M.S., Yücel, K.T., "Effects of Cement -High Range Water Reducer-Fly Ash Ternary System on Concrete Workability", Proc. of the 4th Int. Conf. on Concrete Technology for Developing Countries, 1996, Gazimagusa, North Cyprus.

