

I. Gün
12 Nisan 2007 • Perşembe

II. Oturum

Oturum Başkanı:
Prof. Dr. Hulusi ÖZKUL

BETON KÖPRÜ TABLİYELERİ İÇİN KİMYASAL YALITICI MALZEMELER

Haluk AKTAN

Profesör, Bölüm Başkanı
Civil and Construction Engineering
Western Michigan University, ABD

ÖZET

Beton içerisine nüfuz ederek geçirimsizliğini azaltan ve bir anlamda yalıtıcılık sağlayan kimyasal malzemelerin beton köprü tabliyelerini korumasındaki verimliliğini kontrol eden ana parametre nüfuzun derinliğidir. Kimyasal malzemenin nüfuz derinliğini etkileyen faktörler hem temel bir yaklaşımla hem de bu kimyasalların, betonun bozulması, dayanıklılığı ve geçirimsizliği ile ilişkili literatürden elde edilebilir. Beton yüzeyi yalıtıcıları olarak silan ve siloksan kullanımı ve nüfuz etme özellikleri ele alınmıştır. Ayrıca, yüzey temizleme yöntemleri ve kuruma döneminin etkileri ele alınmıştır. Kimyasal yalıtıcılar, uygun yüzey temizleme ve uygulama prosedürü kullanıldığı sürece etkilidir. Ancak, ilk 6-mm derinlikteki nem durumu yalıtıcının nüfuzunu kontrol etmektedir. Bu yüzden, yalıtıcı uygulamasında önceki kuruma dönemini etkileyen faktörler tanımlanmıştır. Temel çalışmalardan ve literatürden elde edilen bilgiye dayanarak mümkün olan deney yöntemlerini de kapsayan beton içerisine nüfuz eden yalıtıcı kimyasalların seçim prosedürünün ana hatları tanımlanmıştır.

GİRİŞ

Köprü alt ve üst yapısına koruma sağlayan köprü tabliyelerinin dayanıklı ve güvenli bir sürüş yüzeyi sağlaması gerekir. Bir köprünün alt ve üst yapısı doğrudan su, çözücü tuz etkisine veya istenmeyen bir bozulmaya sebep olabilecek herşeye karşı korunmaktadır. Bu yüzden dayanıklı bir tabliye uzun ömürlü bir köprünün anahtarıdır. Dayanıklılık, ulaştırma altyapısı inşaatı için

performansla ilgili beton şartlarından bir performans parametresidir (Aktan ve diğ. 2000). Birçok beton bozulma mekanizması nemin betonun içine nüfuz etmesiyle başlar. Bu sebeple, betonun dayanıklılığının belirlenmesinde genellikle beton içerisine nüfuz eden sıvılara karşı direnç kullanılmaktadır (Mehta ve Monteiro 1993; Yaman ve diğ. 2000).

Michigan'daki ağır ve sert hava koşullarında köprü tabliyeleri çözücü tuzlara, yüksek sıcaklık değişimlerine, tekrar eden ıslanma ve kurumaya, donma ve çözülme döngülerine ve ağır hareketli yük gerilmelerine maruzdur (Yaman ve diğ. 2002). Fiziksel hareketler iç gerilmelere sebep olurken, beton içerisine nüfuz eden aktif maddelerin kimyasal hareketleri çelik donatının korozyonu gibi bozulmalara sebep olur. Özellikle, yüksek miktarda çözücü tuz kullanımı hem çatlaklardan hem de su dolu gözeneklerden donatıya kadar ulaşan klorür iyonlarını ortama sokar. Çözücü tuzlardan ve nemden dolayı oluşan klorür iyonlarının tabliyeye girişini önlemek amacıyla köprü tabliyesi koruma sistemine ihtiyaç vardır.

Köprü tabliyelerinin kimyasal malzemeler kullanımı ile yalıtımının sağlanması ve korunması ile ilgili araştırmaları ve güncel kullanımı tanımlayan bazı çalışmalar yapılagelmektedir (Cady 1994; 1993; Carter 1994; McGettigan 1992; 1990; Pferifer ve Scali 1981; Whiting ve diğ. 1992). Köprü tabliyeleri için özel olarak hazırlanacak beton karışım şartnamesinin, yüklere ve Michigan'daki çevresel etkilere dayanacak, yeterli dayanıklılık özelliklerine sahip beton üretimini sağlayacağı ileri sürülebilir. Bu yüzden, yalıtıcı kimyasallarla veya benzer ürünlerle elde edilen ek önlemlerin getirdiği kazanım önemli görülmeyebilir. Ancak, deneyim ve literatür, betonun dayanıklılık özelliklerinin, saha şartları ve yapım kısıtlamalarından dolayı tabliyenin yüzeyi içinde değişebileceği gibi, tabliyeden tabliyeye de değişim gösterebileceğini işaret etmektedir. Önceki bir çalışma (Yaman ve diğ. 2002) Michigan'daki beş köprü tabliyesi inşaatı sırasında hazırlanan standart numunelerde ölçülen gaz ve su geçirimsizliği değerlerinin değişimini göstermektedir (Tablo 1). Tablo 1'deki veriler, tabliye yüzeyi üzerinde bozucu maddelerin nüfuzu sonrası yapı dayanımını azaltmaya başlayacak zayıf kısımların varlığına işaret etmektedir. Bu yüzden, yalıtıcı kimyasalların kullanımı, tabliyenin çekme, termal çatlama ve/veya yüksek s/ç oranından dolayı daha yüksek geçirimsizliğe sahip kısımları için ek önlem sağlayabilir. Yalıtıcı kimyasal uygulanmasının, beton yüzeyinde daha düzenli dayanıklılık özellikleri sağlaması beklenmektedir.

TABLO 1. Köprü tabliye betonundaki geçirimsizlik ölçümleri (Yaman ve diğ. 2001)

Köprü	Gerçek Geçirimsizlik (10^{-17} m ²)		Su Geçirimsizliği (10^{-10} m/s)	Porozite (%)
	Gaz (b)	Su (c)		
(a)	(b)	(c)	(d)	(e)
B1	485	10.2	11.8	10.6
B2	215	4.5	5.2	9.8
B3	151	3.2	3.7	10.7
B4	34	0.7	0.8	8.8
B5	24	0.5	0.6	8.7

Silan ve siloksan esaslı kimyasal yalıtıcılar gözenek kapatıcılar ve su iticiler olmak üzere ikiye ayrılır. Gözenek kapatıcılar betonun içine sızarak gözenekleri kapatırlar. Su iticiler ise betonun içine nüfuz ederek yüzeydeki hidroksil gruplarıyla tepkir, gözenek duvarlarını kaplar ve hidrofobik duruma getirirler. Su iticiler nem girişini engeller ancak su buharı iletimine izin verir. Gözenek kapatıcılar nem girişini engelledikleri gibi betonun dayanıklılığını olumsuz etkileyebilecek su buharı iletimini de engellerler. Günümüzde köprü tabliyeleri yerinde bırakılan kalıp kullanılarak inşa edilmektedir. Diğer tabliyeler yan yana dizili kutu kirişler üzerine döküldüğünden kalıp kullanılmasına gerek yoktur. Böylece, betondan nem transferi sadece tabliyenin üst yüzeyinden mümkün olmaktadır. Dolayısıyla, gözenekleri tamamen yalıtacak şekilde tabliye yüzeyinin üstünü geçirimsiz bir tabakayla kaplamak veya sızıcı tipteki bir yalıtıcı kimyasal kullanmak betonun nefes almasını engelleyerek, dayanıklılığını olumsuz etkileyebilir. Dahası, gözenek kapatıcılar geniş molekül büyüklüklerinden dolayı betonun içine yeterince nüfuz edemezler (Cady 1994). Yalıtılmış yüzeyin, araç trafiği nedeniyle oluşan aşınmadan dolayı olduğu kadar ultraviyole ışınlar maruz kalması nedeniyle de etkisini kaybetme olasılığı vardır. Bu nedenle, su itici olarak görev yapan kimyasallar daha uzun ömürlü olacak ve köprü tabliyelerinin yalıtımı için tercih edileceklerdir.

Bugüne kadar, kimyasal yalıtıcı miktarı, kaplama sayısı ve kaplamalar arasındaki kuruma dönemi laboratuvar ve arazi tecrübeleriyle tahmin edilmiştir. Bu makalede, kimyasal yalıtıcı nüfuzu ve işlevi esaslarına dayalı kimyasal seçiminin önemi ele alınmıştır. Teorik bir çalışma vasıtası ile, sızıcıların beton içerisine nüfuzunu yöneten kimyasal özellikleri ve beton uyumluluk özellikleri gösterilmiştir. Bununla birlikte, kuruma dönemini belirleyen yüzey temizleme yöntemleri ve nemin beton içindeki hareketi ele alınmıştır. Dahası, belirli bir uygulama için, sızıcı kimyasal seçim prosedürü

tanımlanmıştır. Beton ve sızıcı kimyasal özellikleriyle ilgili bilgiler ve önerilen seçim kriterleri kimyasal katkı üreticileri için olduğu kadar, “karayolları idareleri” için de faydalı olacaktır. Bu makale ayrıca literatürde mevcut olan bilgilerin de bir sentezidir.

AMAÇ

Bu çalışmada köprü tabliyelerinde betona nüfuz ederek geçirimsizliği azaltan kimyasal yalıtım malzemeleri tanıtarak, temel çalışmalardan ve literatürden elde edilen bilgiye dayanarak mümkün olan deney yöntemlerini de kapsayan sızıcı yalıtıcı kimyasal seçim prosedürünün ana hatları tanımlanacaktır.

Güncel Uygulama ve Genel Bilgiler

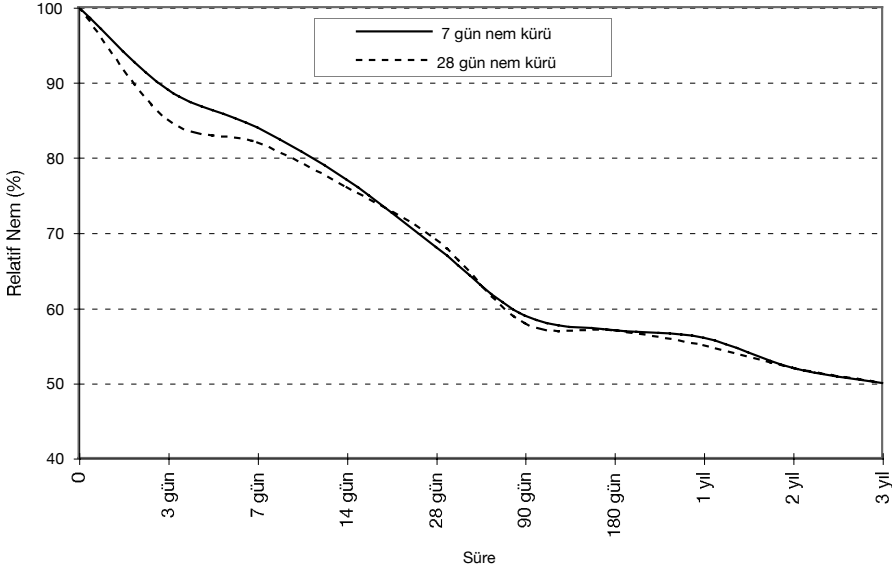
Yüzey Hazırlanması

Beton yüzeyler, kimyasal yalıtıcı uygulamasından önce özel hazırlık gerektirir. Üretici tavsiyelerine ve literatürde yayınlanmış verilere göre beton en az 28 günlük olmalıdır. Yüzey temiz, kuru ve kür bileşiklerinden ve gözenek tıkaçıcı kirleticilerden arınmış olmalıdır. Eğer beton köprü tabliyesi bir yaşından büyükse ve silan ve siloksan yalıtıcılar ilk defa uygulanacaksa, beton yüzeyindeki karbonatlaşmış tabakanın kazınması gerekir. Ayrıca, kullanımda olan tabliyeler için yüzeyin temizlenmesi yağın, gresin, lastiğin ve tabliyede bulunan diğer organik kirleticilerin uzaklaştırılması için de gereklidir. En yaygın kullanılan yüzey temizleme yöntemleri, tozsuz aşındırıcı püskürtülmesi ve tazyikli su ile yıkamadır. Örneğin, Alberta Karayolları İdaresi köprü tabliyelerini her yıl tazyikli su ile yıkamaktadır. Dört yıllık yalıtım döngüsündeki tabliyeler, tazyikli su ile yıkamanın iki gün ardından yalıtılırlar. Bu yalıtım uygulamasından önce, iki günlük ilave kuruma dönemi bir çok üretici tarafından tavsiye edilmektedir.

Kuruma süresi veya nem kayıp oranı esas olarak betonun su çimento (s/ç) oranına, yaşa, betonun kalitesine ve hava durumuna bağlıdır. Tabliye yüzeyinden nemin çıkış miktarı s/ç oranıyla artar ve kuruma süresi boyunca azalır (Brewer 1965). Nem kayıp oranı ayrıca tabliye altındaki kuruma koşullarına da bağlıdır. Brewer (1965) tabliye alt yüzeyindeki değişik kuruma koşullarının tabliye üst yüzeyindeki nem kaybına olan etkilerini incelemiştir. Burada su ile temas etme, su buharıyla temas etme ve kuru olma durumları dikkate alınmıştır. Nem çıkış oranı, şartlar su ile temas halinde olma durumundan su buharı ile temas halinde olma durumuna döndükçe azalmıştır. Brewer (1965) nemin betondan uzaklaşmasına yardımcı olan çoklu mekanizmayı tanımlamıştır; nem kaybı esas olarak üst yüzeyden kurumayla olmaktadır.

Olumsuz hava şartları altında kuruma ile uzaklaştırılabilen nem serbest nemdir. Olumsuz şartların dışında, tazyikli su ile yıkamanın hemen ardından oluşan yüzey sıcaklığındaki değişim, kararsız bir kurumaya neden olmaktadır. Kararsız kuruma dönemi, bir hayli küçüktür ve hesaplamalarda gözardı edilebilir. Çevre şartları altındaki beton, sabit ve düşen oranda şeklinde tanımlanan iki ana kuruma safhası gösterir. Sabit kuruma, beton içinden yüzeye nem sağlandığı sürece devam eder. Bu kuruma safhası sırasında, radyasyon veya iletimle ısı transferinin olmaması durumunda, beton yüzey sıcaklığı nemli hava sıcaklığına eşittir (Geankoplis 1983). Eğer nem, buharlaşma miktarının altına düşerse, düşen oranda kuruma safhası başlar. Düşen oranda kuruma safhasında suyun hareketi difüzyonla gerçekleşir ve nem kaybı miktarı önemli ölçüde azalır. Bu yüzden, sabit oranlı kuruma safhasında uzaklaştırılan nem miktarı daha önemlidir ve kimyasal yalıtıcı uygulamasındaki kuruma safhasının belirlenmesi için kullanışlıdır.

Kuruma üzerine daha fazla bilgi, 150300 mm standart beton numunelerindeki relatif nem dağılımını incelemiş olan Hanson (1968)'dan elde edilebilir. Numuneler 7 ve 28 gün boyunca nem kürüne tabi tutulmuştur. Nem küründen sonra, 23°C ve %50 nemli bir ortamda kurumaya bırakılmışlardır. Nem hareketinin numunenin ekseni boyunca gerçekleşmesi için, numunenin kenarları epoksi ile kaplanmıştır. Şekil 1'de numunelerin içine yerleştirilmiş bağıl nem ölçerlerden elde edilmiş verilerin grafiği örnek olarak verilmiştir. Grafikte ilginç olan beton silindirin %50 bağıl nemli ortamda nem dengesine ulaşması için geçen zamanın uzunluğudur. Şekil 1'de sabit oranlı (90 güne kadar) ve azalan oranlı (90 günden 30 yıla kadar) kuruma dönemleri görülmektedir. Bu veriler, köprü tabliyelerinin tazyikli yıkamadan sonraki sabit oranlı kuruma dönemlerini belirlemede faydalı olabilir. Kurumayı kontrol eden diğer parametreler hakim çevre şartları, betonun s/ç oranı ve tercih edilen yalıtıcının sızma derinliği içinde hedeflenen nem içeriğidir.



ŞEKİL 1 Nem küründen sonra 23°C ve %50 nemli bir ortamda bırakılan standart numunelerin 6-mm derinliğinde elde edilen relatif nem miktarları (Hanson 1968)

Uygulama Prosedürü

Devlet karayolları idareleri tarafından tanımlanan yalıtıcı uygulama prosedürleri birçok durumda üreticilerin tavsiyelerini temel alır. 209 no'lu NCHRP sentez raporunda belirtilen anket sonuçlarına göre devlet karayolları idarelerinin (Cady 1994) silan için en çok tercih edilen uygulama teknikleri; silindir, havasız spreyleme ve fırçalamadır. Siloksan içinse havasız spreyleme ve silindir tercih edilmektedir. Havasız spreyleme tabancasının ucu düşük basınçta yalıtkanı püskürtmekte ve fazla püskürtmeyi en az seviyede tutmaktadır. Birçok üretici ve karayolları idareleri yalıtkan uygulamasında bahçe spreylemelerinin kullanılmasını önermektedir. Yüzey üzerinde bir havuz oluşturarak uygulamak da yalıtıcının dışarı akması önlediği sürece tercih edilen bir başka yöntemdir.

Performans Değerlendirmesi

Devlet karayolları idarelerinin yalıtkan seçim ve performans değerlendirme kriterleri 244 no'lu NCHRP raporunda (Pfeifer ve Scali 1981) tanımlanan deney prosedürlerine dayanır. Bu deney prosedürü için birinci günde kalıptan çıkarılmış ve $23 \pm 17^\circ\text{C}$ de 50 ± 4 bağıl nemde tutulan bir ortamda nem kürü amacıyla dayanıklı plastik poşetle yalıtılmış 10 cm'lik beton küplerine ihtiyaç vardır. Küpler 7 günlük olduğunda, numuneler Portland çimentosu kabuğununu sıyırmak için hafifçe kumlanarak 0.1g hasasiyetle

tartılır. Ağırlık ölçümleri alındıktan sonra, küpler derhal plastik poşetlere geri koyulur ve şartları kontrol altında tutulan bir odaya yerleştirilir. Küpler 21 günlük olduklarında havada kurutulmak için plastik poşetlerden çıkarılır. Küpler 1, 5 ve 21 gün boyunca havada kurutulduktan sonra sızıcı yalıtkanlar uygulanır. Yalıtkan uygulamasından sonra, numuneler şartları kontrol altında tutulan odaya kuruma için geri koyulur. Havada kurutma işlemi sırasında, yalıtkan uygulaması öncesinde ve sonrasında, küplerin ağırlık ölçümleri, 0.1g hassasiyetle yaklaşık 7 günlük aralıklarla yapılır. Son olarak, bütün küpler, 54. günlerinde %15'lik NaCl çözeltisinin içine batırılır. 21 günlük ıslanma dönemin boyunca 3, 6, 9, 12, 15, 18 ve 21. günlerde ağırlıktaki artış 0.1g hassasiyetle ölçülür. 21 günlük ıslanma dönemi sonunda, küplerin kuru yüzeyli doymuş ağırlıkları ölçüldükten sonra tekrar şartları kontrol altında tutulan odaya kuruması için geri koyulur. 21 günlük son kuruma döneminden sonra, 3, 6, 9, 12, 15, 18 ve 21. günlerde 0.1g hassasiyetle ağırlık kaybını belirlemek için ağırlık ölçümleri yapılır. Son kuruma döneminden sonra, küpler ikiye bölünür. Her kübün bir parçası toplam klorür içeriğini belirlemek amacıyla ufalanır. Ölçülen klorür içeriği ve NaCl çözeltisi emilimi, aynı deney prosedürünün uygulandığı, ancak sızıcı yalıtkanların uygulanmadığı kontrol numuneleriyle karşılaştırılır.

NCHRP 244 deney prosedürlerinin köprü tabliyelerine uygulanabilirliği, bu prosedürlerin aşınmaya maruz kalmayan beton yüzeylerine uygulanacak olan yalıtkan seçimi ve değerlendirilmesi amacıyla geliştirilmiş olması nedeniyle sorgulanmaktadır. Bazı devlet karayolları idareleri, özellikle sızıcı türdeki yalıtkanların köprü tabliyelerine uygulanması ile ilgili şartnameler geliştirmişlerdir. Köprü tabliyeleri durumunda, kritik performans parametresi yalıtkanın sızma derinliği olarak tanımlanmıştır.

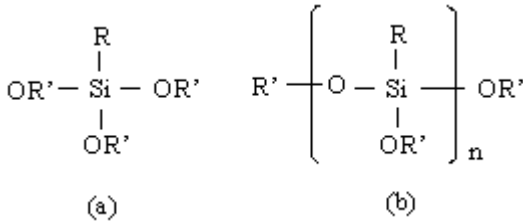
Yalıtkanın performansını değerlendirmek için görünür sızma ve gerçek sızma arasındaki farkın anlaşılması gerekir (McGettina 1992). Görünür sızma, beton numunesi bölünüp ıslanmayan şeridin ölçülmesiyle hesaplanabilir. Gerçek veya etkili sızma derinliği, Alberta Transportation & Utilities (AT&U) tarafından önerilen bir prosedürle hesaplanabilir. Bu prosedür deney numunelerin yüzeylerinin kumlanmasını gerektirir. Kumlama işlemiyle numunenin ağırlık miktarındaki azalma miktarı, küp yüzeyi ve kübün tamamı için hesaplanır. Deney küplerini suya daldırmak ve kazanılan ağırlığı ölçmek yüzey aşınmasından sonraki su geçirmezlik performansını belirler. Bu deney yöntemi çeşitli karayolları idareleri tarafından kabul edilmiş ve birçok araştırmacı tarafından yalıtkan performansının değerlendirilmesinde kullanılmıştır (Mcgettingan 1992).

Malzeme Özellikleri

Hem sızıcı yalıtkanın hem de betonun fiziksel ve kimyasal özelliklerinin uygunluğu yalıtkanın etkinliğini belirler. Dahası, beton ile sızıcı yalıtkan reaksiyon mekanizması, nem önleme özelliğini ortaya koyar.

Silan ve Siloksan Sızıcı Yalıtkanlar

Monomer olan silanlar, sadece bir silikon atomuna sahiptir. Siloksanlar birkaç silan monomerinin tekrarlandığı uzun zincirlerden oluşabilir (Şekil 2). Daha kısa zincirden (beş silikon atomuna kadar) oluşan siloksanlar, sızıcı yalıtkan olarak kullanılabilir. Silan ve siloksan molekül yapıları, doğru veya dallanmış zincir yapısına sahip organik hidrokarbon grupları olan organofonksiyonel (R) içerir. Silikon fonksiyonel grupları (OR'), silisli yüzeyle olan reaksiyonların sebebidir. Organofonksiyonel grupları gözenek çeperlerinde hidrofobik (su itici) bir tabaka oluşturur. Organofonksiyonel ve silikon fonksiyonel gruplar sırasıyla alkil ve alkoksi grupları olup, bu sınıftaki maddeler alkil trialkoksi'dir. Alkil grubunun yapısı (CH₃-, CH₃CH₂-, (CH₃)₂CHCH₂-) su iticiliğin dercesini belirlerken, sızışkanlık alkoksi grubunun büyüklüğüne bağlıdır (CH₃O-, CH₃CH₂O-) (Cady 1994).



ŞEKİL 2 Silan (a) ve siloksan (b)'in moleküler yapısı

Birkaç karbon atomuna sahip Alkil grupları alt beton tabakasında daha yüksek seviyede hidrofobiklik gösterecektir. Bununla birlikte, dallanmış yapıdaki alkil grubu, düz zincir veya dairesel yapılara tercih edilir. Bu yapı türlerinden, dairesel yapıdaki alkil grubu uygulama yüzeyinde en az hidrofobikliğe sahip olandır (McGettigan 1992). Çok kullanılan sızıcı yalıtkanlarda örneğin metil (CH₃-), etil (CH₃CH₂-), propil (C₈H₁₇-) ve i-butil ((CH₃)₂CHCH₂-) seçilen alkil gruplarının su iticilik özelliklerinin karşılaştırılması, yüksek molekül ağırlığına sahip iso-butil ve n-oktil gruplarının metil ve etil'den daha etkili olduğunu göstermiştir. Diğer taraftan, yüksek moleküler ağırlıklı alkil ve/veya alkoksi gruplar, sızıcı yalıtkanın molekül ağırlığını artırarak sızma derinliğini olduğu kadar sızılacak gözenek miktarını da sınırlarlar. Silanların (10-15Å) ve siloksanların (25-75 Å) molekül boyutları beton gözeneklerine (45-1000Å) sızabilecek kadar küçüktür. Hidroliz ve yoğunlaşma sırasında, silan

ve siloksan molekülleri (iki, üç ve hatta dört kata kadar) büyür ve sızma derinliği bu nedenle sınırlanır (McGettingan 1992). Daha küçük alkil ve alkoksi gruplarına sahip sızıcı yalıtkanlar, su iticilikleri nispeten düşük olsa da, daha büyük sızma derinlikleri sağlarlar.

Silan ve siloksan esaslı su iticiler, piyasada daha çok, alkol gibi taşıyıcılar içinde çözülmüş olarak bulunurlar. Esas itibariyle, alkol çözücülerin düşük yüzey gerilmelerine sahip olması ve su ile homojen olarak karışması, uygulama yüzeyindeki nemin, sızma derinliğine etkisinin düşük olmasına sebep olur. Çözücü esaslı sızıcı yalıtkanlar, çözücü buharlaştıkça vizkozlaşır ve sızmaya karşı daha dirençli olur. Düzenli silanlarda, silan beton gözenekleri yüzeyindeki silikon atomlarıyla reaksiyona girdiğinde, gözenek yüzey alanı azalır, bu da reaksiyona girmemiş silanların uygulanan yüzey içinde daha derine sızmasına imkan verir. Her durumda, düzenli silanların belli sınıfları, en iyi yalıtım ürünleri olarak görünmektedir (McGettingan 1992). Maksimum sızma derinliğinde iyi performans temin etmek için belirli sınıftaki düzenli silanların (çözücü içermeyen) veya siloksanların fiziksel ve kimyasal özelliklerini (viskozite, temas açısı, molekül büyüklüğü, hidroliz oranı gibi) optimize etmek mümkündür. Bilinen bir kimyasal kompozisyon için, yalıtkanların fiziksel özellikleri Kimya el kitabından (Dean 1987) veya ticari yazılımlar (ACD Labs 2002) kullanılarak belirlenebilir.

Beton Gözenek Özellikleri ve Geçirimsizlik

Çatlaksız bir betonda sızma esas olarak kapiler gözenekler arasından olur. Çimento jeli gözeneklerinin küçük olması betonun geçirimsizliğine katkı sağlar ancak çimento hamuru bir bütün olarak, jelden 20-100 kat daha geçirgendir. Esas olarak sertleşmiş çimento hamurunun geçirimsizliği, kapiler porositine bağlıdır (ACI). Köprü tabliyesi betonlarında kullanılan, en yaygın su/çimento oranı 0.40, 0.45 arasındadır (Yaman ve diğ. 2001). S/ç oranı 0.40 ile 0.50 arasında olan 28 günlük bir betonda, kapiler boşlukların çapları 45-1000Å arasında değişir (Mehta ve Monteiro 1993). Betonun geçirimsizliği ayrıca sertleşmiş çimento hamurundaki gözenek büyüklüğü dağılımına da bağlıdır (ACI 2001; Mehta ve Monteiro 1993; ve Neville 1995).

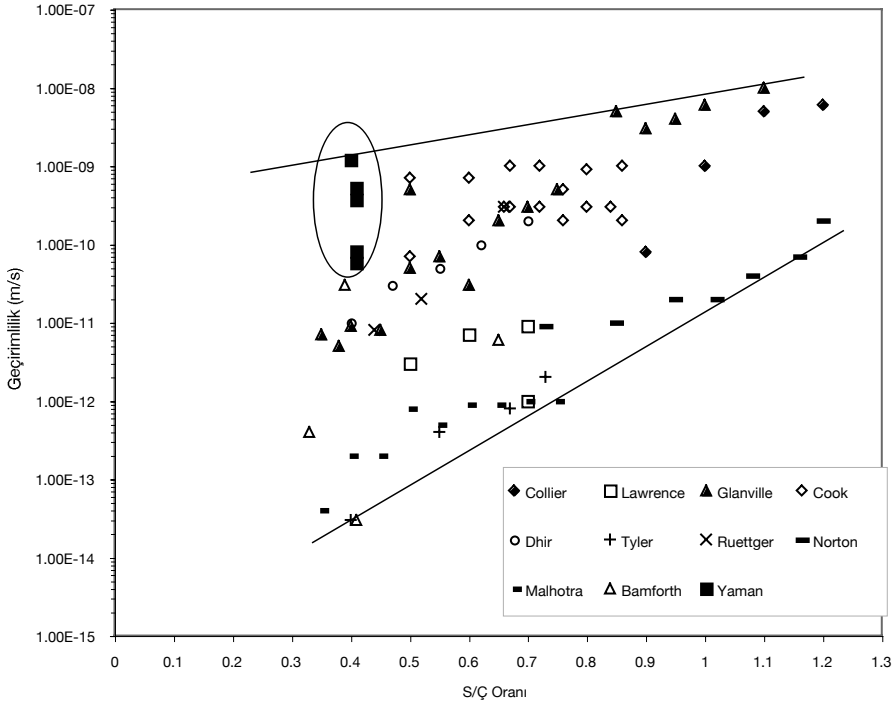
Köprü tabliyesine yalıtkan nüfuzu eğer betonun geçirimsizlik özellikleri biliniyorsa değerlendirilebilir. Michigan'daki köprü tabliyelerinde gerçekleştirilen deneyler sonucu, bir dizi geçirimsizlik verisi elde edilmiştir (Tablo 1) (Yaman ve diğ. 2002). 28 gün boyunca nem kürü uygulanmış numunelere nitrojen (N_2) gazı kullanılarak deneyler yapılmıştır. Tablo 1'in ikinci kolonunda, gaz geçirimsizliği deneylerinden hesaplanan geçirimsizlik katsayıları gösterilmiştir. Esas olarak, tanıma göre, gerçek geçirimsizlik akışkandan bağımsızdır (Neville 1995). Ancak, literatürdeki deneysel veriler,

betonun gerçek gaz geçirimsiliğinin gerçek su geçirimsiliğinden iki kat büyük olduğunu göstermektedir (Whitting 1998). Tablo 1'in ikinci kolonunda verilen gerçek gaz geçirimsiliği verilerini, literatürdeki gerçek su geçirimsiliği verileri ile karşılaştırmak amacı ile, eşdeğer gerçek su geçirimsiliği değerleri, gerçek gaz geçirimsiliği değerlerinin, gaz viskozitesinin su viskozitesine oranıyla çarpılması ile hesap edilmiş ve Tablo 1'in üçüncü kolonunda verilmiştir. Tablo 1'in dördüncü kolonunda verilen su geçirimsiliği (K_w) değerleri (1) eşitliği kullanılarak hesaplanmıştır ve literatürde mevcut olan verilerle birlikte grafik olarak verilmiştir (Şekil 3).

$$K_w = k_w \rho_w g / \eta_w \quad (1)$$

Burada k_w =gerçek su geçirimsiliği; ρ_w =suyun yoğunluğu (1000 kg/m^3); g =yerçekimi ivmesi (9.81 m/s^2) ve η_w =suyun viskozitesi ($8.510^{-4} \text{ kg/m s}$) dir.

Şekil 3'de görüldüğü gibi, köprü tabliyelerinden elde edilen numunelerden ölçülen betonun arazi geçirimsiliği, laboratuvarda hazırlanan numunelerde ölçülen ortalama geçirimsilik değerlerinden daha büyüktür. Bu gözleme dayanarak, yalıtkan sızma amaçları için beton geçirimsiliği hesabında Şekil 3'de yer alan üst sınır verilerinin %80'i kullanılabilir.



ŞEKİL 3 Su geçirimsiliğinin s/ç oranıyla değişimi (Hearn 1992)

Taşıma Özellikleri

Saha koşulları göz önüne alındığında, üreticiler tarafından belirtilen nüfuz derinlikleri köprü tabliyesi betonlarında elde edilemez (Cady 1994 ve McGettingan 1992). Nüfuz derinliği hem yalıtkan ve betonun özelliklerine hem de hakim çevre şartlarına bağlıdır. Sızma derinliği, her bir köprü tabliyesi, yalıtkan ve yalıtkan uygulaması sırasındaki çevre şartları için farklılık gösteren bir faktördür. Kabul edilebilir sızma derinliği hesaplarına, aşağıda formülize edilen akış olayı temel bilgileri kullanılarak ulaşılabilir (Attanayaka ve diğ. 2002).

Gözenekli ağ içinde kararlı akım kabul edilerek, küçük-doygun bir hacim için Darcy yasası aşağıdaki gibi tanımlanmıştır,

$$dV_{\text{imp}} = \frac{k}{\eta} A \frac{\Delta P}{h(t)} dt \quad (2)$$

Burada dV_{imp} =doygun hacim, dt = zaman aralığı, k = gerçek geçirimsizlik katsayısı, A = yüzey akışına dik alan, η = dinamik viskozite, h = sızma derinliği, ve $\Delta P/h(t)$ sıvı içindeki basınç değişimidir.

Betonun bir sıvı ile doldurulmuş küçük bir hacmi veya boşlukları (p), etkin porozite olarak adlandırılır ve mevcut poroziteden küçüktür. Etkin porozite değişik yüzey gerilmelerine sahip sıvılar için farklıdır (Sosoro 1998). Doymun hacim, ayrıca etkin porozite ve doymun derinlik cinsinden aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$dV_{\text{imp}} = pA dh \quad (3)$$

(2) ve (3) denklemlerinin birleştirilmesi ve düzenlenmesi sonucu aşağıdaki formül elde edilir:

$$h(t)dh = \frac{k}{\eta p} \Delta P dt \quad (4)$$

$h(0)=0$ sınır şartı ve zamana göre integral alındığında, sızma derinliği formülü aşağıdaki gibi zaman bağlı olarak elde edilir:

$$h^2 = \frac{2k}{\eta p} \Delta P t \quad (5)$$

Sıvı taşınımında, kapiler kuvvetler etkindir. ΔP kapiler basınç farkı ve

$$\Delta P = \frac{2\gamma \cos \delta}{a} \quad (6)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada a =dairesel kılcalın yarıçapı; γ = yüzey gerilmesi; ve δ =yalıtkanın temas açısıdır.

(5) ve (6) eşitliklerinin birleştirilmesi ile sızma derinliği için, beton ve yalıtkan sabitleri cinsinden, zamana bağlı denklem

$$h^2 = \frac{4k l \gamma \cos \delta}{\eta p a} t \quad (7)$$

veva

$$h^2 = \alpha t \quad (8a)$$

elde edilir. Burada

$$\alpha = 4 \frac{\gamma k}{\eta p a} \cos \delta \quad (8b)$$

α =sızma derinliğinin karesi h^2 ve sızma süresi t arasındaki eğimdir.

(8b) eşitliği, gerçek geçirimlilik katsayısına göre aşağıdaki gibi düzenlenir:

$$k = \alpha \cdot p \cdot a \frac{\eta}{4 \cos \delta \gamma} \frac{1}{l} \quad (9)$$

(9) eşitliğine göre, sızma derinliğini belirleyen gerçek geçirimlilik katsayısı, betonun özgül boşluk özelliklerinin (porozite ve ortalama boşluk yarıçapı) ve yalıtkan özelliklerinin (viskozite, yüzey gerilmesi, ve temas açısı) bir fonksiyonudur. Bu özelliklerin yanısıra, gözenek yapısının dolambaçlılığı, gözenek yapısının topolojisi ve yalıtkanın beton alt yüzeyle reaktivitesi, gerçek geçirimlilik katsayısını etkileyebilecek, hesaba katılmamış faktörlerdir. Tablo 2'de yalıtkan sızmasına etki eden bütün faktörler özetlenmiştir.

TABLO 2. Yalıtıcıların sızma derinliğini kontrol eden faktörler

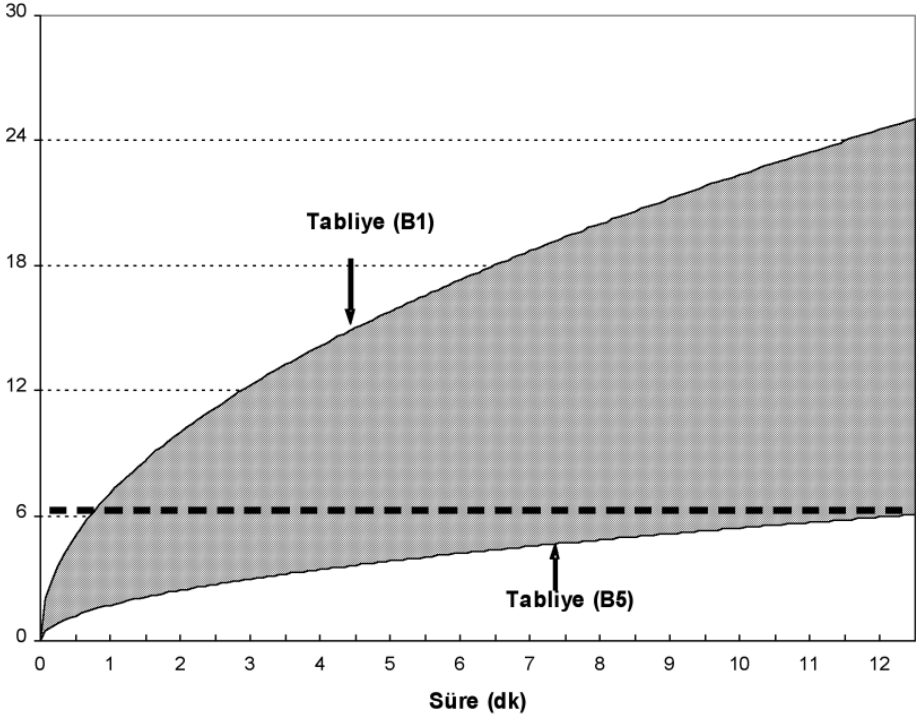
Beton (a)	Sızıcı Yalıtıcılar (b)	Çevre ve Diğer (c)
Gözenek büyüklüğü	Viskozite	Sıcaklık
Gözenek dağılımı	Temas açısı	Bağıl nem
Nem	Yüzey gerilimi	Uygulama basıncı
Çatlak genişliği ve yoğunluğu	Molekül büyüklüğü	Yalıtıcının substratla tepkimesi
Gözenek yapısının dolambaçlılığı	Molekül ağırlığı	
Gözenek yüzey topolojisi		

Sayısal Örnek

Bu örnekte (7) eşitliği kullanılarak tipik bir düzenli silanın teorik nüfuz derinliği hesaplanmıştır. Tablo 1'de verilen deneysel geçirimlilik katsayı değerleri kullanılarak, silanın, zamana bağlı bir dizi nüfuz derinliği değeri hesaplanmıştır. Hesaplarda kullanılan silanın fiziksel özellikleri; yüzey

gerilmesi ($\gamma=0.02$ N/m), yoğunluğu ($\rho=900.4$ kg/m³), temas açısı ($\delta=0^\circ$) ve viskozitesi ($\eta=1.7910^{-3}$ kg/m s)'dir. Yalıtkan fiziksel özelliklerinden bir kısmı deneysel olarak belirlenmiş, bir kısmı da Gerdes ve diğ.(1999)'den alınmıştır. Betonun etkin porozitesi (p), sızan sıvının yüzey gerilimine bağlıdır. Bu hesaplamalarda, etkin porozite beton hacminin %10'una eşit olarak alınmıştır. Etkin porozite ASTM C642'de tanımlanan su emme deneyine göre arazi numunelerinden hesaplanmış değerlerin ortalamasıdır (Yaman ve diğ. 2001). Mehta ve Monteiro'ya göre (1993) iyi hidrate olmuş bir çimento hamurundaki kapiler boşluklar 10 ila 50 nm arasında değişir. Betonun etkin gözenek çapı, çimento hamurununkinden oldukça fazladır. Bu yüzden, ortalama gözenek yarıçapı (a), 2510^{-3} m olarak tahmin edilmiştir. Gerçek silan geçirimsizliği, Tablo 1'in ikinci kolonunda verilen gerçek gaz geçirimsizliği değerlerinin, gaz viskozitesi/silan viskozitesi oranıyla çarpılmasıyla hesaplanmıştır. Gaz ve silanın viskoziteleri sırasıyla 1.7810^{-5} ve 1.7810^{-3} kg/m s'dir. Şekil 4'de (7) eşitliğiyle hesaplanan, zamana göre yalıtkan sızma derinlikleri dizisi, grafik olarak gösterilmiştir. Üst ve alt sınır sızma eğrileri, Tablo 1'de verilen B1 ve B5 köprülerinin geçirimsizlik sınırlarına karşılık gelmektedir. Şekil 4'de görüldüğü gibi, 45 s, 12 dakika arası tabliyeye yüzey üzerinde bir havuz oluşturarak yalıtkan uygulandığında, 6mm sızma derinliğine ulaşılmıştır. Buna karşın, s/ç 0.41 oranı için, Şekil 3'de verilen bazı nüfuz derinliği verileriyle çok düşük bir sızma oranı gözlenmiş ve 6 mm sızma derinliğine ulaşmak için gerekli olan silan uygulama süresi 1 saatin üzerine çıkmıştır. Belli bir tabliye içinde, geçirimsizlikte değişim olabileceği varsayılabilir. Farklı tabliyeler üzerinde yapılan geçirimsizlik ölçümleri, belli bir tabliye içindeki geçirimsizlik farklılığının göstergesidir. Tablo 1'deki geçirimsizlik değişimlerini göz önüne alındığında uygulama süresi, 6mm sızma derinliğinin gerekmediği, oldukça düşük sınırlı geçirimsizliğe dayanıyor olabilir. Örneğin, 1.010^{-17} m² geçirimsizlik sınırı (Şekil 4) ve 6mm sızma derinliği için 7 dakikalık uygulama süresi gerekir. Buradan sınırlı geçirimsizliğin, yalıtkan kullanılsa da yeterli korumayı sağlayacağı anlaşılmaktadır.

Daha uzun uygulama süreleri için, yalıtkanın buharlaşma miktarı daha büyük olacaktır ve maliyet açısından dikkate alınması gerekir.



ŞEKİL 4 Silan'ın nüfuz derinliğinin zamana karşı değişimi

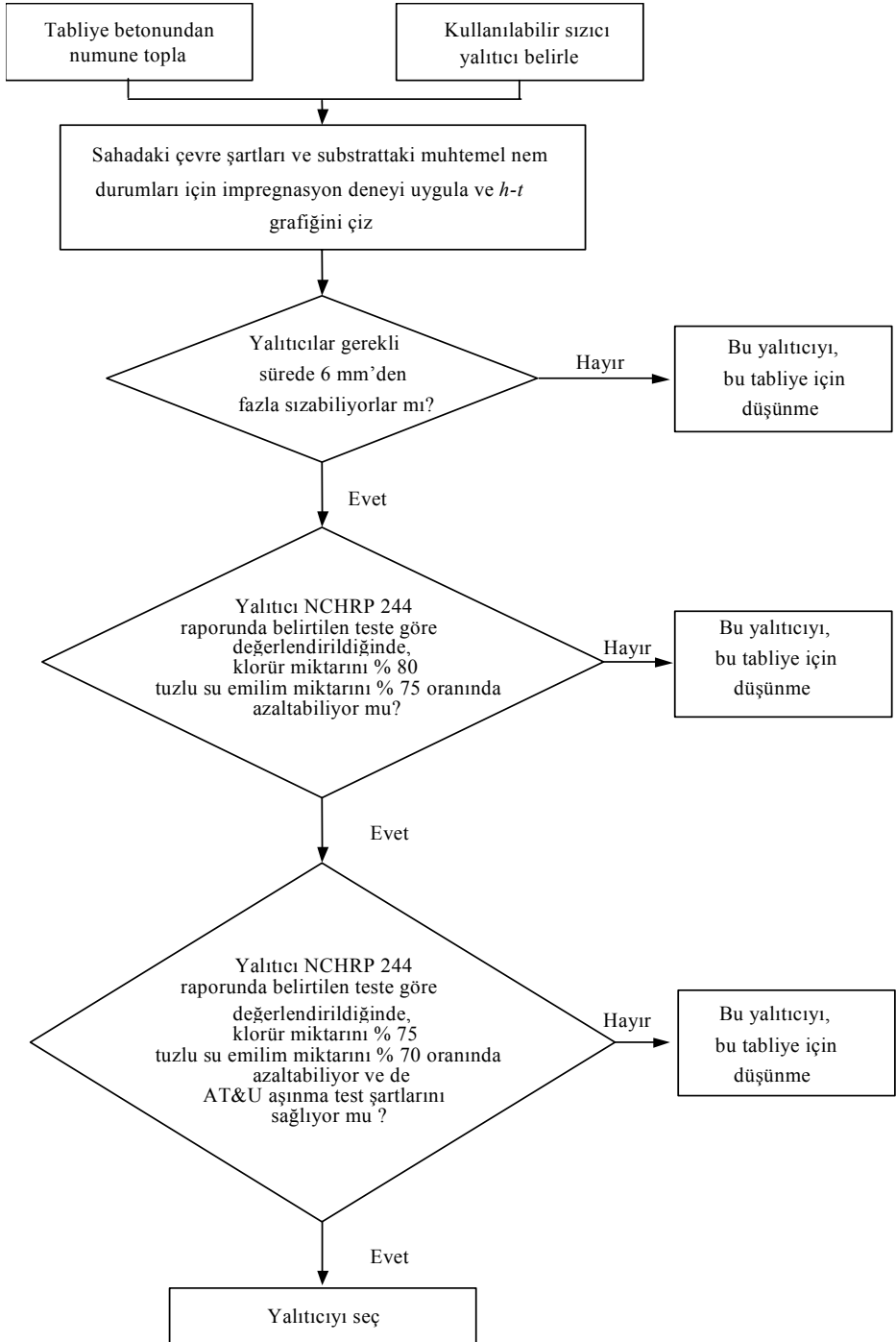
Önerilen Seçim ve Değerlendirme Kriterleri

Yalıtkan Seçim Prosedürü

Tablo 3'de yalıtılmış beton yüzeyi için dikkate alınması gerekli performans faktörleri özetlenmiştir. Belirli bir köprü tabliyesinde sızıcı yalıtkan seçimi için bu faktörlere dayalı bir akış şeması (Şekil 5) sunulmuştur. Tablo 3'de tanımlanan bazı performans faktörleri birbiriyle çelişmektedir. Örneğin, seçilen yalıtkan, klorür girişine ve su sızmasına karşı gerekli beton korumasını sağlayabilir ama yalıtkan dayanıklılığı dikkate alındığında uygun olmayabilir. Şekil 5'deki akış şeması, yalıtkanın korunması ve dayanıklılık ilişkisindeki benzer performans çelişkilerini görmek açısından yararlıdır.

TABLO 3. SIZICI yalıtıcı seçiminde göz önüne alınması gereken faktörler
(Cady 1994 and Basbeer ve diğ. 1997)

Özellik (a)	Önem (b)
Orjinal substrat	Yeni inşaat veya güçlendirme Tabliyenin durumu Daha önceki yüzey iyileştirmeleri Yüzey kirlenmesi
Çevre	Atmosferik, denize yakınlık, vb. Nem varlığı Kirleticilerin varlığı
Yalıtıcı dayanıklılığı	Nüfuz derinliği Ultraviyole ışınlarına karşı dayanım Hidrate olmuş çimento hamuruyla tepkime Akıntı Alkalilere karşı dayanım
Betonun korunması	Klorür emilimi Su emilimi Su buharı iletimi Buz çözücü tuzlara karşı pullanma dayanımı
Servis	Kaymaya karşı dayanım
Uygulama özellikleri	Yüzey hazırlama şartları Yüzey üzerinde havuz oluşturma ya da sprey özellikleri Substrat nemine karşı dayanım Sıcaklığa bağlılığı Sahaya erişim ve şerit kapatma süresi
Yaşam döngü maliyeti	Malzeme birim fiyatı Uygulama sayısı İşçi maliyeti Bakım maliyeti



ŞEKİL 5 Sızıcı yalıtıcı seçim prosedürü

Yüzey Hazırlanması ve Uygulama Prosedürü

Yüzey yalıtımıyla ilgili daha önce anlatılan güncel uygulamalar, yüzeyi kirleticilerden ve tozdan arındıracak gerekli önlemler alındığı takdirde kabul edilebilir. Yeni yapılan tabliyelerde, yalıtım uygulamasının engellenmemesi için kaldırılabilir kür bileşenleri kullanılmalıdır. Basıncılı suyla yıkanan bir tabliye, belirli bir süre kurumaya bırakılmalıdır. Bu süre, hakim olan çevre şartlarına ve tercih edilen sızma derinliği içinde gerekli olan nem muhtevasına bağlıdır. Kuruma süresi, istenilen sıcaklık ve nem şartları altında, nem aktarım oranının bilinmesiyle hesaplanabilir. Esas olarak, daha iyi sızma derinliğine, yalıtıcı reaksiyonu için gerekli olacak kadar suyun gözeneklerde bulunması şartı ile daha kuru bir yüzeyle ulaşılabilir.

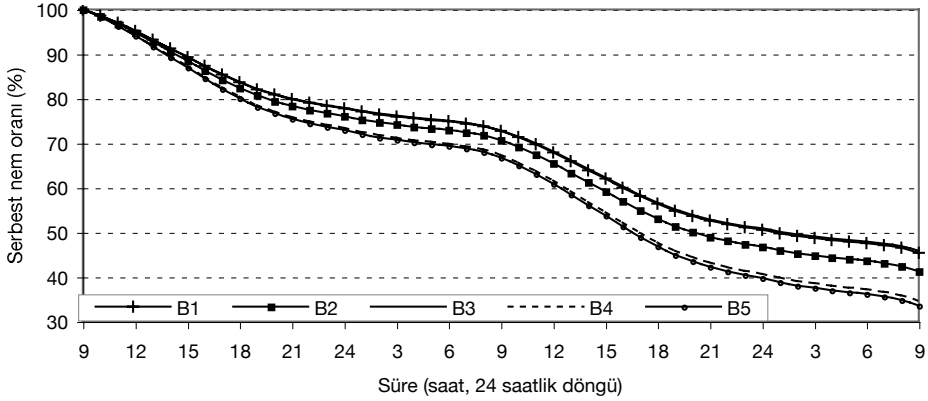
Nem muhtevası tabliye yüzeyine yakın kısımlarda, tazyikli su ile yıkama sırasında artar. Tazyikli su ile yıkama sonrasında tabliye yüzeyindeki beton gözeneklerinin suya doymun olacağı kabul edilebilir. Tabliye, çevre şartlarına açık olduğu için, serbest nem olarak düşünülebilecek gözenekler içindeki su buharlaşır. Tabliye nemini gerekli seviyeye düşürmek için gerekli olan zaman hesaplanabilir. Sabit oranlı kuruma dönemi dikkate alındığında, serbest nemin zaman içindeki değişimi aşağıda verilen (10) ve (11) formülleriyle hesaplanabilir.

$$R_c = (3,600 \text{ h}) / (1,000\lambda) \times (T - T_w) \quad (10)$$

$$X_2 = X_1 - (AR_c t) / L_s \quad (11)$$

Burada, R_c = kuruma oranı, h =ısı dağılımı katsayısı, T =çevre sıcaklığı, T_w = ıslak hava sıcaklığı, λ =suyun ısısı, X_1 ve X_2 = başlangıç ve son nem içeriği, t =kuruma zamanı, A =tabliye alanı, L_s =kuru betonun ağırlığıdır.

Şekil 6'da güneydoğu Michigan'da tipik bir yaz günü (2004 hava verileri) çevre şartları için yapılan hesaplamalar gösterilmiştir. Kuruma zamanının hesaplanmasında, 48 saatlik (2 gün) bir kuruma süresi sonunda, yalıtkan uygulaması için tazyikli su ile yıkamanın sabah 9:00'da başladığı kabul edilmiştir. Şekil 6'ya göre, serbest nem oranının %30'ı aşan kısmı, örnekte belirtilen çevre şartları altında yalıtım yüzeyinde kalacaktır. Yalıtkanı uygulamadan önce, serbest nemin tamamının yüzeyden uzaklaştırılması tercih edilir. Bu durumda iki günlük kuruma süresi yeterli olmayabilir ve tozsuz aşındırıcı püskürtülmesi gibi kuru temizleme yöntemlerinden birinin kullanımı seçilebilir.



ŞEKİL 6 Güneydoğu Michigan'da tipik yaz günü çevre şartları için tabliye betonu serbest nem oranının zamana karşı değişimi

En çok tercih edilen sızıcı yalıtkan uygulama yöntemleri yüzey taşıma ve havasız sprey kullanımındır. Temiz yüzeye en az iki tabaka halinde yalıtkan uygulaması tercih edilir. İki uygulama arasında yeterli kuruma süresinin olması gerekir. Bu süre (10) ve (11) eşitlikleri kullanılarak belirli bir beton porozitesi ve beklenen çevre şartları için belirlenebilir.

ÖZET VE SONUÇ

Yalıtıcı uygulanan köprü tabliyeleri, çözücü tuzların ve yüzeyden sızan diğer bozucu maddelerin etkilerine karşı tekdüze dayanıklılık gösterebilir. Beklenen tabliye korunma süresi, yalıtkan sızma derinliğine bağlıdır. Betonun içine yalıtkan sızması, yalıtkanların spesifik beton için doğru seçimine bağlıdır; böylece sızma miktarı hesaplanabilir.

Beton tabliye yüzeyine yalıtkan uygulama prosedürü buluşsal olarak tanımlanmıştır. Esas olarak, mümkün olan bütün şartlar altında başarılı bir uygulama sağlamak için bir tasarım prosedürüne ihtiyaç vardır. Bu makalede ele alınan tespitlerin yardımıyla, yalıtkan uygulama işlemi için, belirli şartlar altındaki köprü tabliyelerine uygulanabilecek beton karışım tasarımına benzer bir tasarım prosedürü düzenlenebilir. Kullanımda olan köprü tabliyelerini yalıtma durumunda, güçlü yıkama ve yalıtkan uygulaması arasındaki kuruma dönemi tasarım prosedürünün bir parçasıdır ve makalede verilen formüllerle hesaplanabilir. Uzun kuruma dönemlerinin gerektiği, nem oranı yüksek bölgelerde, tozsuz aşındırıcı püskürtülmesi gibi kuru temizleme yöntemlerinden birinin kullanımı seçilebilir. Ard arda taşıma prosedürüyle uygulanan yalıtkanlar, nemli beton tabliyede ilave sızmaya yol açacaktır.

Teşekkür

Bu çalışma Michigan Department of Transportation (MDOT) tarafından, Wayne State Üniversitesi Yapısal Dayanıklılık Merkezi aracılığıyla finanse edilmiştir. Burada belirtilen görüşler, yazara aittir ve sponsorların bakış açısını yansıtmak durumunda değildir. Alberta Department of Transportation'dan M.J.Wong'a teşekkür ederim. Sika Corporation, Lone Star Epoxies, endur-O-seal ve Fox Industries araştırma boyunca sürdürülen deneysel çalışmalar için gerekli olan sızıcı yalıtkanları sağlayarak destek vermişlerdir. Yazar ayrıca, Kimya Mühendisliği Bölümünden çalışmada emeği geçen araştırma görevlileri Vipuik Kishore ve Linfeng Zhang'a teşekkür eder.

Notasyon:

Makalede aşağıdaki semboller kullanılmıştır:

A	=	alan (m^2)
a	=	silindirik kılcalın gözenek yarıçapı (m)
db	=	dt zaman aralığındaki derinlik (m)
dt	=	zaman artışı
dV_{imp}	=	dt zaman aralığındaki doymun hacim(m^3)
H	=	ısı iletimi katsayısı(W/m^2K)
b	=	sızma derinliği(m)
k	=	gerçek permeabilite katsayısı(m^2)
L_s	=	kuru betonun kütlesi (kg)
p	=	porozite
R_c	=	kuruma oranı ($kg H_2O/h m^2$)
T	=	ortam sıcaklığı (K)
T	=	kuruma zamanı (h)
T_w	=	çiy oluşması için gerekli olan sıcaklık (K)
X_1, X_2	=	başlangıç ve son serbest nem muhtevası ($kg H_2O/kg$ kuru beton)
γ	=	yüzey gerilmesi (N/m)
ΔP	=	kapiler basınç farkı (N/m^2)
$\Delta P/b(t)$	=	sıvıdaki basınç değişimi (N/m^3)
δ	=	temas açısı(derece)
η	=	suyun sınır ısısı($kJ/kg.$)

KAYNAKLAR

1. ACD Labs. (2002). <http://www.acdlabs.com/> December 2002.
2. ACI. (2001). "Causes, evaluation and repair of cracks in concrete structures." *ACI manual of concrete practice, ACI 244.1R-93*, Detroit.
3. Aktan, H. M., Yaman, O., and Staton, J. (2000). "Ultrasonic pulse velocity method for the quantification of new concrete bridge deck durability." *Proc., Int. Conf. on Application of Geophysical & NDT Methodologies to Transportation Facilities and Infrastructure*, Federal Highway Administration, St. Louis, Mo.
4. Attanayake, U., Aktan, H., and Ng, S. (2002). "Criteria and benefits of penetrating sealants for concrete bridge decks." *MDOT RC-1424, CSD-2002-03*, Michigan Department of Transportation, Construction and Technology Division, Lansing, Mich.
5. Basheer, P. A. M., Basheer, L., Cleland, D. J., and Long, A. E. (1997). "Surface treatments for concrete: assessment methods and reported performance." *Constr. Build. Mater.*, 11 (7-8), 413-429.
6. Brewer, H. W. (1965). "Moisture migration-concrete sabl-on-ground construction." *J. PCA Res. Dev. Lab.*, 7 (2), 2-17.
7. Cady, P. D. (1993). "Condition evaluation of concrete bridges relative to reinforcement corrosion." *Procedure manual, SHRP-S-330*, Strategic Highway Research Program, National Research Council, Washington, D.C.
8. Cady, P. D. (1994). "Sealers for portland cement concrete highway facilities." *NCHRP Synthesis 209*, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C.
9. Carter, P. D. (1994). "Evaluation of dampproofing performance and effective penetration depth of silane sealers in concrete." *Special Publication 151 (SP-151)*, ACI, Detroit, 95-117.
10. Dean, J. A. (1987). *Handbook of organic chemistry*, McGraw-Hill, New York.
11. Geankopolis, C. J. (1993). *Transport processes and unit operations*, 3rd Ed., Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J.
12. Gerdes, A., Wittmann, F. H., and Lehmann, E. H. (1999). "Characterisation of transport processes in surface near zones of concrete by means of neutron radiography." *PSI Annual Rep.*, Annex VI, [_http://neutra.web.psi.ch/publication/](http://neutra.web.psi.ch/publication/) November 22, 2004.
13. Hanson, J. A. (1968). "Effects of curing and drying environments on splitting tensile strength of concrete." *J. Am. Concr. Inst.*, 65, 535-543.
14. Hearn, N. (1992). "Saturated permeability of concrete as influenced by cracking and self-sealing." Ph.D. thesis, Univ. of Cambridge, Cambridge, U.K.

15. McGettigan, E. (1990). "Application mechanism of silane weatherproofers." *Concr. Int.*, ACI, 12 (10), 66–68.
16. McGettigan, E. 1992. "Silicon-based weatherproofing materials." *Concr. Int.*, ACI, 14 (6), 52–56.
17. Mehta, P. K., and Monteiro, P. J. M. (1993). *Concrete: Structure, properties, and materials*, 2nd Ed., Prentice–Hall, Englewood Cliffs, N.J.
18. Michigan Department of Transportation MDOT. (2003). *Standard specifications for construction*, Lansing, Mich.
19. Neville, A. M. (1995). *Properties of concrete*, 4th Ed., Longman's, London.
20. Pfeifer, D. W., and Scali, M. J. (1981). "Concrete sealers for protection of bridge structures." *NCHRP Rep. No. 244*, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C.
21. Sosoro, M. (1998). "Transport of organic fluids through concrete." *Mater. Struct.*, 31, 162–169.
22. "Weather data." (2004). <http://www.intellicast.com> August 15, 2004.
23. Whiting, D. (1988). "Permeability of selected concretes." *ACI Special Publication, Permeability of Concrete, SP-108*, Detroit, 195–222.
24. Whiting, D., Ost, B., Nagi, M., and Cady, P. D. (1992). "Condition evaluation of concrete bridges relative to reinforcement corrosion: methods for evaluating the effectiveness of penetrating sealers." *SHRP-S/FR-92-107*, Strategic Highway Research Program, National Research Council, Washington, D.C.
25. Yaman, I. O., Birgul, R., Aktan, H. M., Hearn, N., and Staton, J. F. (2002). "A test method to appraise the future durability of new concrete bridge decks." *Transportation Research Record. 1798*, Transportation Research Board, Washington, D.C., 56–63.
26. Yaman, I. O., Karaca, H., and Aktan, H. M. (2001). "Evaluation of concrete permeability by ultrasonic testing techniques." *Phase IV Final Rep.*, Wayne State Univ., Detroit.
27. Yaman, I. O., Udegbunam, O., and Aktan, H. M. (2000). "Assessing concrete permeability from ultrasonic pulse velocity measurements." *Paper No: 00-1190*, Transportation Research Board CD ROM, Washington, D.C.

POLİKARBOKSİLAT ESASLI KİMYASAL KATKILARIN BETON ÜRETİMİNDE KULLANIMI

Ali Raif SAĞLAM
Dr. İnş. Yük.Müh.
Teknik Servis Sorumlusu
Sika Yapı
Kimyasalları A.Ş.

Nazmiye PARLAK
Kim. Müh.
Ar-Ge K. Kont. Md.
Sika Yapı
Kimyasalları A.Ş.

M.Hulusi ÖZKUL
Prof. Dr
Yapı Malz. A.B.Dalı
İTÜ İnşaat Fakültesi

ÖZET

Özellikle kendiliğinden yerleşen beton (KYB) üretimine olanak sağlamaları nedeni ile tanınan polikarboksilat esaslı katkıları, son yıllarda hazır beton ve prefabrik beton sektöründe geleneksel beton üretiminde de gittikçe artan bir oranda kullanılmaya başlanmıştır.

Son yıllarda beton teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak katkı sektöründe farklı amaçlar için farklı bileşimlerde katkıları, benzer şekilde çimento sektöründe de farklı çimentolar üretilmektedir. Bu nedenle, beton üretiminde kullanılan çok sayıdaki çimento ve katkıların uyumlu olmaları önem taşımaktadır. Bu çalışmada, farklı kimyasal yapı ve özelliklerdeki polikarboksilat esaslı katkıları, betona kazandırdıkları işlenebilirlik ömrü ve erken dayanım özellikleri temel alınarak beton sektöründe kullanımları açısından değerlendirilmiştir. Bu amaçla, polikarboksilat esaslı 6 farklı süperakışkanlaştırıcı katkı ve 3 farklı fabrikanın ürünü olan CEM I 42,5 ve bir adet CEM II 42,5 çimentoları (4 farklı çimento) kullanılarak üretilen çimento hamuru ve betonların taze ve sertleşmiş haldeki özellikleri belirlenmiş ve bu karışımlarda çimento-katkı uyumu incelenmiştir.

1.GİRİŞ

Son yıllarda yurdumuzda hazır beton sektörünün gelişimine paralel olarak projelerde kullanılan beton sınıfları yükselmiştir. TS EN 206 Standardının uygulamaya konulması ile birlikte beton dayanımı yanında çevre etki

sınıflarının da göz önüne alınması zorunluluğu gelmektedir. Bu durum dayanıklılığa göre tasarım ilkesini ön plana çıkarmakta, ve daha düşük su/çimento oranlarında ve daha yüksek dayanımlı betonların üretimini zorunlu kılmaktadır; bu ise süper akışkanlaştırıcı katkıların (SA) kullanımını artırmaktadır.

Türkiye’de özellikle yaz aylarında hava sıcaklığının artmasının etkisi ile hazır beton sektöründe beton kıvamının korunmasında zorluklarla karşılaşmakta, çözüm olarak şantiyede akışkanlaştırıcı katkının betona yeniden katılması veya kontrolsüz şantiyelerde betona ilave su katılarak kıvam ayarlamaları denenmektedir. Birinci uygulamada ilave katkının miktarının iyi ayarlanması ve katkı katılmasından sonra betonun iyi bir şekilde karıştırılması gerekmektedir.

Öte yandan prefabrik sektöründe kullanılan betonlarda istenen temel özellik amaçlanan erken (saat mertebesinde) dayanıma olabildiğince az buhar kürü uygulayarak ulaştırılması ve betonu yerleştirme amacı ile kullanılan vibrasyon süresinin azaltılmasıdır.

Süperakışkanlaştırıcı kimyasal katkıları (SA) taze betonun işlenebilirliğini artırmak amacı ile kullanılırlar. TS EN 934-2 Standardına [1] göre bir akışkanlaştırıcı katkının SA sınıfına girebilmesi için eşit kıvamda kontrol betonuna göre en az %12 oranında su azaltması, eşit su/çimento oranında hazırlanan betonlarda ise başlangıç 30 mm olmak üzere çökme değerini en az 120 mm artırması gerekmektedir.

Melamin, naftalin ve linyosülfonat esaslı SA’lar dışında son yıllarda polikarboksilat esaslı SA’lar geliştirilmiştir. Tarağa benzer yapıda (graft) olan polikarboksilat polimerleri, bir ana omurga ve bu omurgaya karboksilik ve/veya sulfonik gibi iyonik gruplar ile polialkilenoksit gibi iyonik olmayan grupların yan zincir olarak bağlanmasıyla oluşur [2]. Bu omurganın uzunluğunun değişmesiyle, yan zincirleri oluşturan iyonik grupların içeriğinin, miktarının ve uzunluğunun değiştirilmesiyle farklı özellikte polikarboksilat polimeri geliştirmek mümkündür. Geleneksel SA’lar çimento taneleri üzerine birikerek aynı işaretli iyonlarla yükleyip iyonik itki ile akışkanlık sağlarken yeni kuşak SA’lar (karboksilat esaslı) bu itkinin yanı sıra doldurma etkisi (sterik etki) ile de akışkanlık sağlamaktadır. Yan zincirlerdeki iyonik grupların, iyonik kuvvetine, molekül yapısına ve ağırlığına göre, elektrostatik itme ve sterik etkiyi artırması beklenir.

Genel olarak kimyasal katkıların, özel olarak SA’ların bazı çimentolar ile uyumsuzluk gösterdiği bilinmektedir. Çimento-katkı uyumsuzluğu taze

betonun erken katılaşması ya da tam tersine priz sürelerindeki aşırı gecikme şeklinde gözlenebilir. Ayrıca uyumsuzluk nedeni ile katkı dozajı artırıldığında ayrışma ve aşırı terleme de oluşabilir. Uyumsuzluğa bağlı olarak hava sürüklenmiş betonlarda hava kabarcıklarının kararlılığı da bozulabilir [3].

Çimento-SA uyumsuzluğu çimentoya ve SA'ya bağlı etkenler olarak ikiye ayrılabilir. Çimentoya bağlı etkenler olarak C_3A içeriği, serbest kireç miktarı, alkali içeriği, çimento toplam yüzey alanı (inceliği), kalsiyum sülfatın tipi sayılabilir [4]. SA'ya bağlı etkenler içinde kimyasal bileşimi, molekül ağırlığı, beton karışımına katılış şekli ve sırası önem kazanmaktadır. Bunların dışında agrega tipi ve oranı, su/çimento oranı, sıcaklık ve kür koşullarının da uyum üzerinde etkili olduğu belirtilmiştir [3].

Bonen ve Sarkar [5], polinaftalin sülfonat esaslı SA ile değişik tipteki çimentoları denemiş ve çimento inceliği, C_3A içeriği ve etrenjit oluşumu ile SA molekül ağırlığının SA'nın çimento taneleri üzerinde adsorbe olması, iyonsal dayanımın ise kıvam kaybı üzerinde etkili oldukları sonucuna varmışlardır.

Bhatty [6], ısıl analiz yöntemi kullanarak, sülfonlanmış melamin formaldehid esaslı SA'nın çimento bileşenlerinden olan C_3A ve C_3S 'in hidratasyonunu geciktirdiğini ve aynı zamanda C_3A 'nın sülfatlarla etrenjit oluşturduğu reaksiyonu hızlandırdığını belirtmiştir.

Melamin bazlı SA kullanılarak üretilen betonda 200 donma-çözülme çevrimi sonunda oluşan dayanım düşüklüğü ortaya çıkan hidratasyon ürünlerindeki bünye suyu miktarının yüksekliğine bağlanmıştır [4]. Aynı çalışmada SA'ların çimento hidratasyon ürünlerinin morfolojisini değiştirdikleri ve özellikle etrenjit kristallerinin boylarını ve kalınlıklarını etkilediği belirtilmiştir. Grierson ve Maharaj [7] linyosülfonatların hidratasyonu geciktirdiğini ve etrenjit morfolojisini değiştirdiğini gözlemişlerdir.

Agarwal ve diğ. [8] naftalin, melamin ve linyosülfonat esaslı SA'ları normal ve puzolanlı Portland çimentoları ile denemiş ve katkı üreticisinin önerdiği katkı oranlarında bile gecikme gözlendiğini kaydetmişlerdir.

Mäder ve diğ. [9] 3 farklı polikarboksilat esaslı polimeri SA olarak kullanmışlardır. Denenen SA'lardan birinci tipinin kuvvetli iyonik özellikte olduğu, hızlı bir şekilde çimento taneleri üzerine adsorbe oldukları ve buna bağlı olarak erken akıcılık özelliğinin yüksek olduğu belirtilmiştir. İkinci tipinde ise iyonik özellik daha düşük olduğundan başlangıçtaki akıcılık da düşük düzeyde kalmakta, ancak daha ileri sürelerde çimentonun hidratasyon ürünleri üzerine adsorbe olmaktadır. Son tip SA'da ise poliakrilik esaslı

polimer kullanılmış ve yan gruplar akrilik esterler üzerinden ana moleküle bağlanmıştır. Bu tip SA'lar başlangıçta akıcılık ve yayılma üzerine az etki yapmakla birlikte, zamanla bazik ortamda (çimento da böyle bir ortamdır) iyonik özellikleri artarak adsorbe olma potansiyelleri yükselir ve böylece uzun süreli işlenebilirlik sağlanmış olur.

Nkinamubanzi ve Aitcin [10] polisulfonat, polikarboksilat ve polifosfonat esaslı SA ve değişik oranlarda alkali ve sülfat içeren çimentolarla ürettikleri şerbetler (grout) üzerinde katkı doygunluk derecesi, ve betonlarda ise başlangıçtaki çökme, çökme koruma, ve diğer taze beton özelliklerini katkı-çimento uyumu açısından karşılaştırmışlardır. Polisulfonat esaslı SA'ların yüksek alkalili ve yeterli oranda çözünebilir sülfat içerikli çimentolarla uyumlu oldukları, buna karşılık polikarboksilat esaslı SA'ların çimentodaki alkali ve sülfat miktarına daha az duyarlı olduğu sonucuna varılmıştır. Polifosfonat esaslı SA'da ise erken çökme daha düşük (160 mm) olmakla birlikte çok başarılı kıvam koruma özelliği gösterdiği belirtilmiştir.

2.AMAÇ

Kendiliğinden yerleşen betonlarda polikarboksilat esaslı SA'ların, yurdumuzda üretilen bazı çimentolarla uyumsuzluk gösterdiği belirlenmişti [11]. Polimerlerin beklenen davranışlarını gerçekleştirilme olasılıkları çimentonun tipi ile de ilgilidir. Bu çalışmada, betona çeşitli fonksiyonlar kazandırmak amacıyla geliştirilen polikarboksilat katkıların (6 farklı polimer) birbirlerine göre karşılaştırılmaları yapılırken, aynı polimerlerin farklı fabrika ürünü olan üç CEM I ve bir CEM II çimentosu ile uyum davranışları da ele alınmıştır.

3. DENEYSEL ÇALIŞMA

3.1.Malzemeler

3.1.1. Agregalar

İnce malzeme olarak iki ayrı doğal kum (öz. ağı. = 2,62 ve 2,57 kg/dm³), kırma kum (öz. ağı. =2,66 kg/dm³), ve iri agrega olarak en büyük tane boyutu 20 mm olan 2 nolu kırmataş (öz. ağı. = 2,70 kg/dm³) ve 1 nolu kırmataş (öz. ağı. =2,70 kg/dm³) kullanılmıştır. Agrega karışımına, iki farklı doğal kum, kırma kum ve 1 nolu kırmataş sırasıyla % 10, % 15, % 25, % 25 ve % 25 oranlarında katılmışlardır.

Tablo 1. Çimentonun Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

	C1	C2	C3	C4	TS EN 197-1
Kimyasal Bileşim (%)					
Al ₂ O ₃	4.23	5.05	5.45	4.73	
MgO	0.97	1.44	1.12	1.62	
K ₂ O	0.57	0.59	0.80	0.58	
Na ₂ O	0.09	0.16	0.21	0.19	
Toplam Alkali	0.47	0.55	0.74	0.57	
SO ₃	2.44	2.36	2.71	2.28	< %3,5
CaO	64.17	63.33	63.64	61.48	
SiO ₂	20.39	19.42	20.18	19.98	
Fe ₂ O ₃	3.65	2.72	3.42	2.69	
Kızdırma Kaybı	2.40	3.33	1.70	5.00	< % 5
Serbest Kireç	1.01	0.90	1.07	0.81	
Toplam	98.91	98.40	99.23	98.55	
Mineralojik Bileşim (%)					
C ₃ S	61.52	61.98	52.08		
C ₂ S	12.07	8.95	18.59		
C ₃ A	5.03	8.78	8.66		
C ₄ AF	11.11	8.28	10.41		

3.1.2. Çimentolar

Tüm deneylerde, üç adeti CEM I 42,5R ve bir adeti CEM II/A-M 42,5R sınıfında (TS-EN 197-1) üç farklı fabrikanın ürünü olan ve C1, C2, C3 ve C4 olarak gösterilen çimentolar kullanılmıştır (Tablo 1).

3.1.3. Kimyasal Katkılar

Deneylerde kullanılan katkıların tümü polikarboksilat esaslıdır ve özellikleri Tablo 2. de verilmiştir. Tüm kimyasal katkıları deneylerde çimento ağırlığına oranla kullanılmıştır. Beton deneylerinde, katkıların seyreltilmiş çözeltileri kullanılmış hava sürüklemelerinin önlenmesi için her birine eşit oranda köpük kesici ilave edilmiştir.

Tablo 2. Kimyasal Katkıların Özellikleri

Yapılan Testler	SA1	SA2	SA3	SA4	SA5	SA6
Yoğunluk	1,0822	1,0812	1,0837	1,0870	1,0825	1,0830
pH	4,38	3,94	3,95	5,32	4,32	3,99
Katı Madde (%)	40,03	39,58	39,57	39,61	39,15	39,35

3.2. Deney Programı

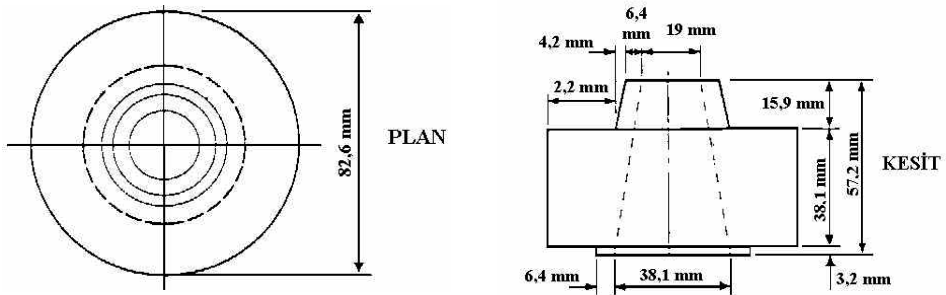
Polikarboksilat esaslı katkıların davranışları çimento hamuru ve beton üzerinde ele alınmıştır. Her seride 4 ayrı çimento ile 6 farklı katkı test edilmiş, aralarındaki çimento-katkı uyumları incelenmiştir. Deneylerde kullanılan yöntem aşağıda açıklanmıştır.

3.2.1. Çimento Hamuru Deneyleri

Çimento hamurlarında su/çimento oranı 0,35 ve katkı/çimento oranı %0,35 olarak kullanılmıştır. Hamurlar üzerinde boyutları Şekil 1.'de verilen Kantro mini slump konisi yardımı ile yapılan yayılma deneyinde, yayılma çapı (D) ölçülmüştür. Deneyler hamur üretiminden yaklaşık 5 dakika sonra (ani) ve 60. dakikalarda yapılmıştır.

3.2.3. Taze ve Sertleşmiş Beton Deneyleri

Üretilen betonların işlenebilirlik özellikleri, TS EN 12350-2'de tanımlanan Abrams konisi ile yapılan çökme deneyinde belirlenmiştir. Deneyler beton üretiminden yaklaşık 6 dakika sonra (ani), 30 ve 60. dakikalarda yapılmıştır. Tüm karışımlarda çimento dozajı 320 kg/m^3 , su/çimento oranı 0,45 ve katkı/çimento oranı % 1 olarak seçilmiştir. Beton deneylerinde esas olarak aynı su miktarları ile üretilen betonların kıvamlarının değişiminin incelenmesi amaçlanmıştır. Üretilen betonların hava içerikleri ve birim ağırlıkları TS EN 12350-6 ve 7'ye uygun olarak ölçülmüştür. Üretilen betonlardan alınan 15 cm 'lik küp şeklindeki numuneler 1 gün laboratuvar ortamında saklandıktan sonra kalıplarından çıkarılmış, ve deney gününe kadar $20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ de su içinde saklanmışlardır. Numuneler üzerinde 1 ve 7. günlerde basınç deneyi uygulanmıştır.



Şekil 1. Kantro Minislump Konisi

4. DENEY SONUÇLARI VE İRDELENMESİ

Tablo 3 de betonlar üzerinde taze ve sertleşmiş halde gerçekleştirilen deneylerin sonuçları verilmiştir. Aşağıda bu sonuçlar irdelenecektir.

4.1. Taze Beton ve Çimento Hamuru Deney Sonuçları

Tablo 4 ve Şekil 1 de Tablo 3 den yararlanılarak betonlar üzerinde başlangıçta ölçülen çökme değerleri gösterilmiştir. Tablo 4 de en az 15 cm ve üzerinde çökme gösteren betonlar başarılı olarak tanımlanmıştır. SA5 katkısı dışındaki katkıların denenen çimentolarla başlangıç değerleri açısından genel olarak başarılı (SA4 katkısı C3 çimentosu ile 13,5 cm çökme vermiştir) oldukları görülmektedir. SA5 katkısı ise C3 ve C4 (CEM II) çimentoları ile başlangıçta düşük çökme değerleri sergilemiştir.

Tablo 5 ve Şekil 2 de verilen 30. dakikada yapılan çökme deneyi sonuçları incelendiğinde C1 ve C4 çimentolarının tüm katkı tiplerinde kıvamlarını korudukları, C3 çimentosunun ise SA1 dışındaki katkılarda fazla kıvam kaybına uğramadıkları anlaşılmaktadır. C3 ve C4 çimentolarının SA5 ile başlangıçta düşük olan kıvamlarının 30. dakikada sırası ile 21,5 ve 19,5 cm değerlerine çıktığı görülmektedir.

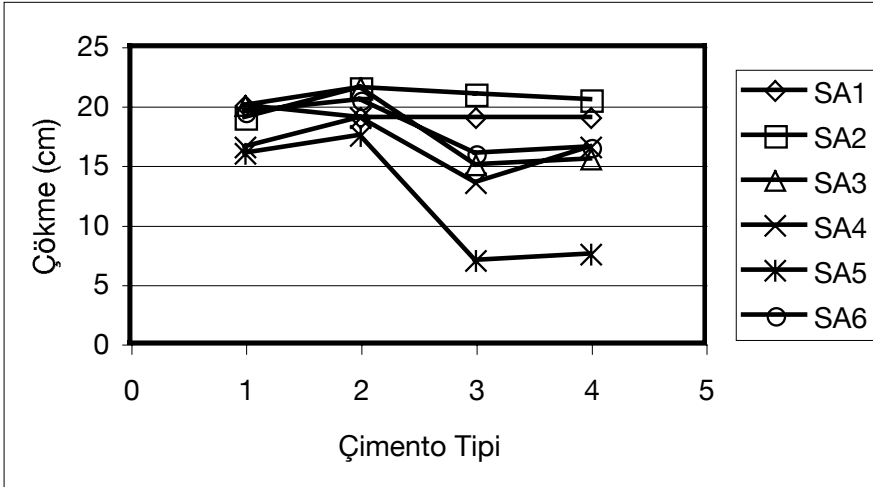
Tablo 3. Beton Deneyi Sonuçları

Katkı	Çökme (cm)			Çökme Kaybı	Hava (%)	T.H.B.Ağ. (kg/m ³)		Dayanım (MPa)		Açıklama		
	5'	30'	60'			5'-60'	0'	5'	60'	1	7	0'
C1	SA1	20	20	5,5	14,5	1,5	2434	2326	17,5	44,9	var	yok
	SA2	19	21,5	18	1	1,8	2423	2345	18	43,9	var	yok
	SA3	20	18,5	16	4	2,8	2403	2299	15,9	43,7	yok	yok
	SA4	16,5	18	16	0,5	3	2397	2369	16,4	40,6	Yok	yok
	SA5	16	20,5	9	7	2,8	2405	2293	18	41,8	Yok	yok
	SA6	19,5	21	6,5	13	2,7	2412	2350	16	40,8	Yok	yok
C2	SA1	19	4	2	17	2,5	2405	2357	19,4	40,3	Var	yok
	SA2	21,5	13	9,5	12	2	2411	2382	17,5	40,9	Var	yok
	SA3	21,5	18	9,5	12	3,2	2395	2330	13	43,2	var	yok
	SA4	19	11	8,5	10,5	3,4	2386	2321	14,5	31	Yok	yok
	SA5	17,5	18	7	10,5	3,4	2388	2283	15,6	37	Yok	yok
	SA6	20,5	13	6,5	14	3	2397	2328	16,2	40,2	var	yok

C3	SA1	19	9	3,2	15,8	2,2	2402	2360	23,3	39,7	Yok	yok
	SA2	21	19,5	18	3	2,1	2424	2366	24,7	43,1	az var	yok
	SA3	15	16	16	-1	3,5	2394	2289	21,1	39,2	Yok	yok
	SA4	13,5	15,5	15,5	-2	3,5	2396	2290	22,3	38,5	Yok	yok
	SA5	7	21,5	18	-11	3,2	2407	2317	20,6	39,4	Yok	yok
	SA6	16	19,5	17	-1	3	2409	2256	20,5	41,7	Yok	yok
C4	SA1	19	17	6,5	12,5	2,2	2420	2390	19,4	45,4	Yok	yok
	SA2	20,5	19	16,5	4	1,8	2429	2379	18,4	39,8	Var	yok
	SA3	15,5	17,5	16	-0,5	3,1	2396	2344	16,5	42	Yok	yok
	SA4	16,5	15	13	3,5	3,1	2399	2362	18,3	39,9	Yok	yok
	SA5	7,5	19,5	14	-6,5	3,3	2400	2338	17,6	39,1	Yok	yok
	SA6	16,5	17	4	12,5	3,4	2398	2358	19,7	41,9	Yok	yok

Tablo 4. Betonlarda başlangıçtaki çökme değerleri (cm).

Çimento cinsi	Katkı cinsi						Başarılı katkı
	SA1	SA2	SA3	SA4	SA5	SA6	
C1	20	19	20	16,5	16	19,5	6/6
C2	19	21,5	21,5	19	17,5	20,5	6/6
C3	19	21	15	13,5	7	16	4/6
C4	19	20,5	15,5	16,5	7,5	16,5	5/6
Başarılı çimento	4/4	4/4	4/4	3/4	2/4	4/4	



Şekil 1. Başlangıçta ölçülen çökme değerlerinin çimento ve katkı cinsine bağlı değişimi.

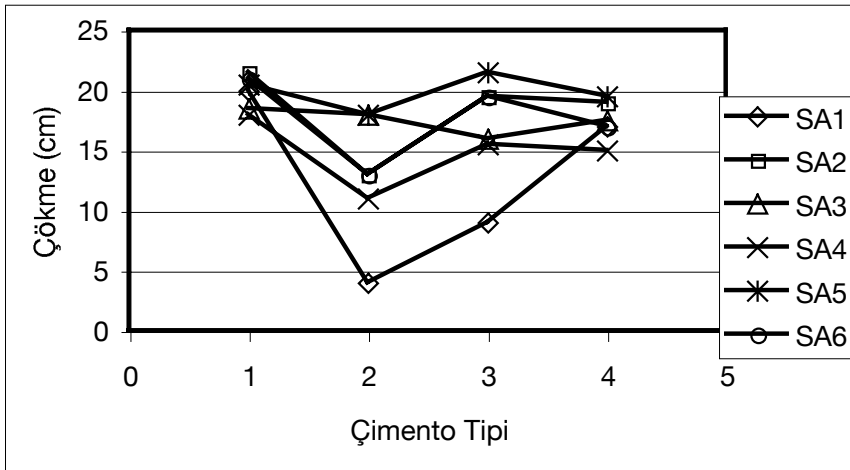
60. dakikada gerçekleştirilen beton çökme deney sonuçları Tablo 6 ve Şekil 3 de verilmiştir. Bu süre sonunda SA1 katkısının hiçbir çimento ile kıvamını koruyamadığı, SA5 ve SA6'ların ise C3 çimentosu dışındaki çimentolarla

yüksek kıvam kaybına uğradıkları görülmektedir. SA1 ve SA2 katkıları ise bu sürenin sonunda sadece C2 çimentosu ile uyumsuzluk gösterip hızlı kıvam kaybına uğramıştır. SA4'ün C2 çimentosu yanında C4 çimentosu (CEM II) ile de çökme kaybı gösterdiği, ancak bu sonuncu çimento ile olan çökme değerinin 13 cm düzeyinde olduğu anlaşılmaktadır.

60. dakikadaki kıvam kayıpları çimento açısından ele alındığında ise en uyumlu çimento C3 çimentosu (başarı oranı 5/6) olurken, C2 çimentosunun en uyumsuz (0/6) olduğu ve denenen tüm katkı tiplerinde hızlı kıvam kaybına uğradığı gözlenmektedir. Bu çimento Tablo 1 de verilen kimyasal bileşimi açısından incelendiğinde denenen diğer CEM I çimentolarından alkaliler ve C_3A miktarları açısından fazla farklı olmadığı, ancak SO_3 oranının küçük miktarda düşük kaldığı gözlenmektedir. C2 çimentosunun diğer iki CEM I çimentosundan belirgin biçimde farklı olduğu nokta ise kızdırma kaybının bu çimentoda daha fazla olmasıdır. Ancak, literatürde çimento-katkı uyumu açısından kızdırma kaybının etkisine değinilmemiştir.

Tablo 5. Betonlarda 30. dakika çökme değerleri (mm).

Çimento cinsi	Katkı cinsi						Başarılı katkı
	SA1	SA2	SA3	SA4	SA5	SA6	
C1	20	21,5	18,5	18	20,5	21	6/6
C2	4	13	18	11	18	13	2/6
C3	9	19,5	16	15,5	21,5	19,5	5/6
C4	17	19	17,5	15	19,5	17	6/6
Başarılı çimento	2/4	3/4	4/4	3/4	4/4	3/4	

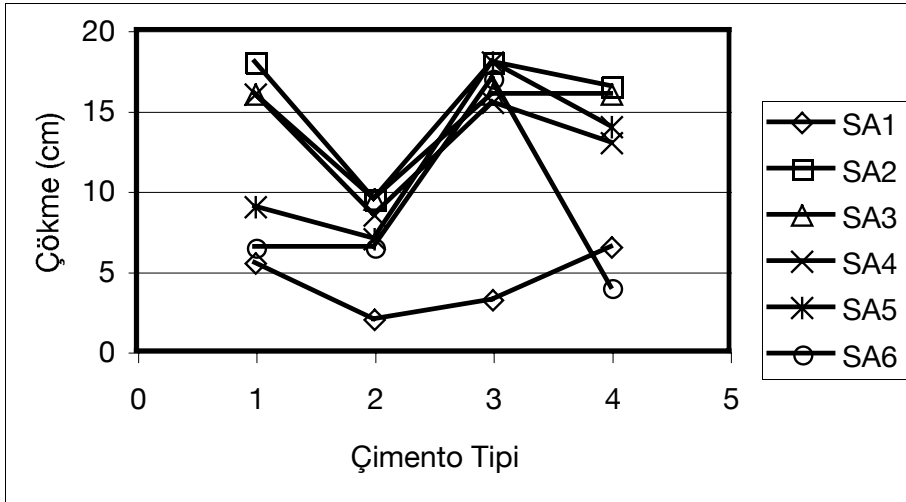


Şekil 2. 30. dakikada ölçülen çökme değerlerinin çimento ve katkı cinsine bağlı değişimi.

Tablo 3 den SA5'in C3 ve C4 çimentolu betonlarda başlangıçta 7 ve 7,5 cm lik çökme verirken, 30. dakikada bu değerlerin 21,5 ve 19,5 cm ye ulaştığı, 60. dakikada ise sırası ile 18 ve 14 cm de kaldığı anlaşılmaktadır. SA5'in C3 ve C4 çimentoları ile sonradan adsorbe olma özelliği nedeniyle uzun süre kıvam korudukları söylenebilir [9].

Tablo 6. Betonlarda 60. dakika çökme değerleri (mm).

Çimento cinsi	Katkı cinsi						Başarılı katkı
	SA1	SA2	SA3	SA4	SA5	SA6	
C1	5,5	18	16	16	9	6,5	3/6
C2	2	9,5	9,5	8,5	7	6,5	0/6
C3	3,2	18	16	15,5	18	17	5/6
C4	6,5	16,5	16	13	14	4	2/6
Başarılı çimento	0/4	3/4	3/4	2/4	1/4	1/4	



Şekil 3. 60. dakikada ölçülen çökme değerlerinin çimento ve katkı cinsine bağlı değişimi.

Süperakışkanlaştırıcı katkıların çimento taneleri ya da çimento hidratasyon ürünleri üzerine adsorbe olma süreleri kıvam ve kıvam koruma özelliklerini etkilemektedir. Çimento taneleri üzerine hızlı bir şekilde adsorbe olanlar başlangıçtaki akışkanlığı artırırken ileri sürelerde bu özelliklerini koruyamamaktadır [8]; SA1 katkısı tüm çimentolarla bu davranışı sergilemiştir. Bazı katkıların başlangıçta düşük adsorbe olma özellikleri nedeni ile düşük kıvam verdikleri, ancak ileri sürelerde hidratasyon ürünleri üzerine adsorbe olarak kıvamı artırdıkları bilinmektedir; SA5'in C3 ve C4 çimentoları ile bu şekilde davrandığı söylenebilir. Diğer bir tür katkıların ise açıklanan her iki

özelliği de bir arada gösterdikleri, bu nedenle hem başlangıçta hem de uzun süre sonra yüksek akışkanlık sergiledikleri anlaşılmaktadır. SA2, SA3 ve SA4 katkılarının C2 dışındaki çimentolarla genel olarak bu özellikte olduğu gözlenmiştir.

Çimento hamuru üzerinde elde edilen ve Tablo 7 de verilen deney sonuçları incelendiğinde betonlar üzerinde ölçülen sonuçları bire-bir yansıtmadığı görülmektedir. Örneğin C1 çimentosu hamuru tüm katkı ile 60. dakikanın sonunda da kıvam koruma özelliği sergilerken aynı çimento ile üretilen betonlarda 3 katkıda hızlı kıvam kaybı yaşanmıştır. Benzer şekilde, çimento hamuru sonuçlarına göre yüksek kıvam ve kıvam koruma açılarından C2 çimentosu C3 çimentosuna göre daha iyi durumda görünürken, beton sonuçlarına göre C2 çimentosunun hiçbir katkı ile başarılı olamadığı, C3 çimentosunun ise denenen 6 katkıdan 5'inde başarılı olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlara dayanarak katkı-çimento uyumunun çimento hamuru sonuçlarına dayanarak tahmin edilmesinin zor olduğu değerlendirilebilir.

Tablo 7. Çimento Hamuru Deney Sonuçları

Çimento	Katkı	Yayıma			Açıklama
		5' (mm)	60' (mm)	Fark (%)	
C1	SA1	171	180	105	Su kuma 5'az, 60' daha fazla.
	SA2	195	190	97	Su kuma var.Yayıma, şekil asimetrik
	SA3	165	167	101	Su kuma çok az.
	SA4	145	147	101	Su kuma yok
	SA5	120	150	125	Su kuma yok
	SA6	146	180	123	Su kuma 5' yok, 60' hafif var
C2	SA1	185	162	88	Su kuma 5' var, 60' yok
	SA2	185	170	92	Su kuma 5' var, 60'yok
	SA3	137	140	102	Su kuma 5'-60' yok
	SA4	124	125	101	Su kuma 5'-60' yok
	SA5	114	145	127	Su kuma 5'-60' yok
	SA6	137	140	102	Su kuma 5'-60' yok
C3	SA1	120	140	117	Su kuma 5'-60' yok
	SA2	123	125	102	Su kuma 5'-60' yok
	SA3	100	110	110	Su kuma 5'-60' yok
	SA4	95	95	100	Su kuma 5'-60' yok. Karıştırıcı izi kalıyor
	5	70	121	173	Su kuma 5'-60' yok. Karıştırıcı izi kalıyor
	K6	107	132	123	Su kuma 5'-60' yok. Karıştırıcı izi kalıyor

C4	K1	125	121	97	Su kusma 5'-60' yok
	K2	143	148	103	Su kusma 5'-60' yok
	K3	110	117	106	Su kusma 5'-60' yok
	K4	104	112	108	Su kusma 5'-60' yok
	K5	93	117	126	Su kusma 5'-60' yok
	K6	110	117	106	Su kusma 5'-60' yok

4.2. Sertleşmiş Beton Deneyi Sonuçları

Betonların 1 ve 7 günlük basınç dayanımları Tablo 3 de toplu olarak gösterilmiştir. Genel olarak sonuçların \pm %10 oranında birbirlerinden fark ettikleri gözlenmektedir. En düşük 1 günlük dayanımları SA3, SA4 ve SA5 katkıları C2 çimentosu ile vermişlerdir. C2 çimentosu, önceki bölümde belirtildiği üzere, taze betonun kıvam deneylerinde de uyumsuzluk göstermişti. Aynı katkıların aynı çimento (C2) ile 7 günlük dayanımları incelendiğinde SA3 ve SA5 katkılı betonların diğer katkı-çimento kombinasyonları arasında en düşük dayanımı verdiği, SA4 katkısının ise 7. günde toparlayarak diğer katkılarla arasındaki farkı kapattığı belirlenmiştir.

4. SONUÇLAR

- 1) Denenen bazı çimento ve süperakışkanlaştırıcı katkıları arasında çimento-katkı uyumsuzluğuna rastlanmıştır. Taze betonda bu uyumsuzluk genel olarak hızlı kıvam kaybı şeklinde ortaya çıkmıştır.
- 2) Denenen 3 CEM I ve bir CEM II çimentosu arasında bir CEM I çimentosunun (C2) denenen 6 SA ile de uyumsuzluk gösterdiği ve 60. dakikada bu çimento ile üretilen tüm betonların çökme değerlerini 10 cm nin altına indirdiği belirlenmiştir. Bu çimentonun bileşiminin genel olarak diğer iki CEM I çimentosuna benzediği, ancak kızdırma kaybının daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır.
- 3) Denenen CEM II çimentosunun diğer başarılı iki CEM I çimentosundan farklı davranmadığı belirlenmiştir. Bu nedenle CEM II çimentolarının da polikarboksilat esaslı katkıları ile başarılı şekilde kullanılabilirler değerlendirilmesi yapılabilir.
- 4) Sertleşmiş betondaki çimento-katkı uyumsuzluğu 1 ve 7 günlük dayanımlarda düşük değerler elde edilmesi şeklinde ortaya çıkmıştır. Yine C2 çimentosu üç katkı ile uyumsuzluk göstermiştir; ancak diğer betonlara göre dayanımdaki farklar % 20 yi aşmamıştır.
- 5) Betonun yüksek kıvam ve ileri sürelerde kıvam koruma özelliklerini çimento hamuru üzerinde kıvam deneyi yaparak belirlemek tüm

denenen çimento-katkı kombinasyonları için olası görülmemektedir. Genel olarak çimento hamuru ile beton deneyleri arasında belirgin bir ilişki elde edilememiştir.

Teşekkür

Bu çalışmada kullanılan çimentoların analizlerinin yapılmasını sağlayan Sn. Halim Tekkeşin şahsında Nuh Çimento San. Tic. A.Ş.'ye ve çalışmanın hayata geçirilmesinde emeği geçen Sika Teknik Departman laboratuvarı teknisyeni Sn. Ufuk Erbay ve laboratuvar çalışanı Sn. Mehmet Zor'a teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- [1] TS EN 934-2 Kimyasal Katkılar-Beton, Harç ve Şerbet için Bölüm 2: Beton Katkıları-Tarifler, Özellikler, Uygunluk, İşaretleme ve Etiketleme, TSE, Ankara, Mart 2002.
- [2] Schober, I., Maeder, U., "Compatibility of Polycarboxylate Superplasticizers with Cements and Cementitious Blends", Seventh CANMET/ACI International Conference on Superplasticizers and Other Chemical Admixtures in Concrete, (2003).
- [3] Bedard, C., Mailvaganam, N.P., The Use of Chemical Admixtures in Concrete. Part I: Admixture-Cement Compatibility, J. Perform. Constr. Facil., 19 (4) ASCE, 263-266 (2005).
- [4] Grabiec, A. M., Contribution to the Knowledge of Melamine Superplasticizer Effect on Some Characteristics of Concrete after Long Periods of Hardening, Cem. Concr. Res., 29, 699-704 (1999).
- [5] Bonen, D., Sarkar, S.L., The Superplasticizer Adsorption Capacity of Cement Pastes, Pore Solution Composition, and Parameters Affecting Flow Loss, Cem. Concr. Res., 25 (7), 1423-1434 (1995).
- [6] Bhatti, J. I., A Review of Application of Thermal Analysis to Cement-Admixture Systems, Thermochimica Acta, 189, 313-350 (1991).
- [7] Grierson, L.H., Knight, J.C., Maharaj, R., The Role of Calcium Ions and Lignosulphonate Plasticiser in the Hydration of Cement, Cem. Concr. Res., 35, 631-636 (2005).

- [8] Agarwal, S.K., Masood, I., Malhotra, S.K., Compatibility of superplasticizers with Different Cements, *Const. Build. Mat.*, 14, 253-59 (2000).
- [9] Mader, U., Schober, I., Wombacher, F., Ludirdja, D., Polycarboxylate Polymers and Blends in Different Cements, *Cem. Concr. Aggr.*, 26 (2), 110-114 (2004).
- [10] Nkinamubanzi, P.-C., Aitcin, P.-C., Cement and Superplasticizer Combinations: Compatibility and Robustness, *Cem. Concr. Aggr.*, 26 (2), 102-109 (2004).
- [11] Sağlam, A.R., Parlak, N., Doğan, Ü.A., Özkul, M.H., "Kendiliğinden Yerleşen Beton ve Çimento-Katkı Uyumu", *Beton 2004 Kongresi Bildirileri*, T. H. B. B., 213-224 (2004).

RÖTRE AZALTICI KATKI MALZEMELERİ

Turgay KADIOĞLU, Cengiz ŞENGÜL, Özkan ŞENGÜL
Yılmaz AKKAYA, Mehmet Ali TAŞDEMİR
İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi
İstanbul, Türkiye

ÖZET

Sunulan bu çalışmanın temel amacı rötre azaltıcı katkı malzemelerinin beton özelliklerine etkilerini incelemektir. Çalışmada iki farklı rötre azaltıcı katkı maddesi kullanılarak iki farklı su/çimento oranında beton ve harç numuneler üretildi. Bunlara ilave olarak kontrol karışımları da hazırlanarak tüm numuneler üzerinde rötre ölçümleri yapıldı. Harç fazındaki numunelerin ağırlık kayıpları ölçüldü. Ayrıca betonların basınç dayanımları da belirlendi. Elde edilen deney sonuçları, rötre azaltıcı katkı içeren karışımlarda kontrol numunelerine göre daha az rötre meydana geldiğini göstermektedir. Bu azalma yüksek su/çimento oranında daha belirgindir. Çalışmada kullanılan rötre azaltıcı katkılardan birinin diğerine göre biraz daha etkili olduğu görülmüştür. Rötre azaltıcı katkılı beton numunelerin basınç dayanımları katkısız numunelere göre daha düşük elde edilmiştir. Harç fazında katkılı numuneler daha çok ağırlık kaybetmelerine karşın daha az rötre yapmışlardır.

GİRİŞ

Betondaki suyun çeşitli etkiler nedeniyle azalması sonucu çimento matrisinde iç gerilmeler oluşur ve betonda büzülme meydana gelir. Betonda su kaybının neden olduğu bu hacimsel değişik rötre olarak isimlendirilir. Rötre çatlakları, beton veya betonarme yapı elemanlarının hem görünüşünü hem dayanım ve dayanıklılığını olumsuz etkiler. Otopark zemin kaplamalarında, havaalanları pistlerinde, betonarme perde duvarlarda, dış cephe prekast elemanlarda, köprü ayaklarında, liman yapılarında rötre büyük önem taşır. Çeşitli kimyasal etkilere maruz kalan betonarme yapı elemanlarında rötrenin neden olduğu çatlaklardan dolayı zararlı maddelerin beton içine girişi ve

taşınımı kolaylaştırır, buna bağlı olarak örneğin donatının korozyona uğraması daha kısa sürede gerçekleşebilir. Kısacası rötre sonucu oluşan çatlaklar yapının servis ömrünü etkileyen önemli faktörlerden biridir. Beton oluşturulan malzemeler ve kür koşulları ile yüzey/hacim oranı gibi yapı özellikleri rötre miktarında etkili olur. Beton karışımının optimize edilmesi ve uygun kür koşulları ile rötre miktarı ve rötre çatlakları azaltılabilir [1].

Betonda rötreyi azaltmak için kullanılacak yöntemlerden bir tanesi de rötre azaltıcı katkı kullanmaktır [2]. Düşük viskoziteye sahip olmaları bu katkı maddelerin en önemli özelliğidir. Non-iyonik yüzey aktif malzemeler olan rötre azaltıcı katkıları genellikle poli-alkalin ether bazlı maddelerdir [3]. Suya %1 oranında rötre azaltıcı eklentisi ile su – rötre azaltıcı katkı karışımının yüzey geriliminde %30'lara ulaşan bir azalma görülebilmektedir [3,4]. Yapılan deneysel bir çalışmada kullanım oranlarına bağlı olarak suyun yüzey gerilimi % 54 azaltılmıştır [5]. Kapiler boşluklardaki su kolaylıkla beton bünyesinden uzaklaşabilir. Kapiler gerilmelerin etkisiyle su yüzeyinde oluşan menisk haline bağlı olarak beton içerisindeki suyun dışarı çıkışı gerçekleşir. Boşluğu dolduran sıvının yüzey gerilimi kapiler gerilmeler ile orantılıdır. Kapiler gerilmeler ise rötre deformasyonları ile ilişkilidir [6]. Boşluklardaki suyun çıkışıyla birlikte C-S-H taneleri birbirlerine yaklaşmaya başlar. İyice yaklaşan C-S-H taneleri belirli bir mesafeden sonra Van der Waals bağları etkisiyle bu çekim kuvvetini iyice artırarak birbirleri arasındaki mesafeyi çok hızlı bir şekilde daraltmaya devam ederler. Rötre azaltıcı katkı maddeleri ise birbirini takip eden bu seri olayların birinci adımında, düşük viskoziteye bağlı olarak sudaki kapiler gerilmelerin oluşumunu azaltarak rötreyi kontrol altında tutabilir. Böylece C-S-H tanelerinin birbirlerine yaklaşma mesafesi korunmuş olur. Yüzey gerilimini düşüren moleküller çimento hidrasyon ürünleri tarafından absorbe edildiği için rötre azaltıcı katkıların etkinlikleri zamanla azalabilir.

Rötre azaltıcı katkıları kuruma rötrelere yanında düşük su/çimentolu karışımlarda otojen rötreyi de azaltmak için kullanılabilir [7]. Beton kür suyunun belirli oranda rötre azaltıcı katkı malzemesi içermesi durumunda betonun kuruma profilinin değiştiği, buna bağlı olarak buharlaşmanın azaldığı ve hidrasyon derecesinin arttığı görülmüştür [8]. Böyle bir sonuç ise bu katkıların beton kümrünü iyileştirmek amacıyla da kullanılabilirliği ortaya koymaktadır.

Rötre azaltıcı katkıların beton boşluk yapısının etkilemesi sonucu çimento hidrasyonları yavaşlayabilir, buna bağlı olarak ise beton dayanımları olumsuz etkilenebilmektedir [6]. Rötre azaltıcı katkı maddelerinin beton boşluk suyu yüzey gerilmesini azaltmanın yanında boşluk suyu viskozitesini de arttırdığı, bunun sonucunda ise difüzyon katsayılarının ve beton geçirimsizliklerinin

azalabileceği de ifade edilmektedir [9]. Buna karşın, yapılan deneysel bir çalışmada rötre azaltıcı katkı kullanılarak üretilen betonların hızlı klor geçirimsizlik değerlerinde kontrol betonlarına göre kayda değer bir değişim olmadığı görülmüştür [10].

AMAC

Bu çalışmanın temel amacı rötre azaltıcı katkıların bazı beton özelliklerine etkilerini incelemektir. Çalışmada iki farklı rötre azaltıcı katkı maddesi kullanılmasıyla iki farklı su/çimento oranında beton ve harç numuneleri üretilerek rötre ölçümleri gerçekleştirildi. Harç numunelerinde zamanla meydana gelen ağırlık kayıpları da ölçüldü.

DENEYSEL ÇALIŞMA

Kullanılan Malzemeler ve Üretilen Karışımlar

Çalışmada aynı agregaya ve portland çimentosu kullanılarak 0,33 ve 0,53 su/çimento oranlarında iki seri beton üretildi. Bu serilerde iki farklı rötre azaltıcı katkı malzemesi kullanılarak karışımlar hazırlandı. Bu karışımların yanında katkı içermeyen kontrol bileşimleri de üretildi. Hazırlanan tüm betonlarda agregaya türü ve agregaya maksimum tane boyutu sabit tutuldu. Düşük su/çimentolu betonlarda betonlarda yeterli işlenebilmeyi sağlayabilmek için akışkanlaştırıcı katkı maddesi de kullanıldı. Üretilen karışımların bileşimleri ve bazı taze beton özellikleri Tablo 1'de gösterilmektedir.

Tablo 1. Beton bileşimleri ve bazı taze beton özellikleri

	53SRA0	53SRA1	53SRA2	33SRA0	33SRA1	33SRA2
Çimento (kg/m ³)	400	400	400	400	400	400
Su (kg/m ³)	212	212	212	132	132	132
Doğal Kum (kg/m ³)	391	387	387	437	432	432
Kırma Kum (kg/m ³)	453	447	447	506	500	500
Kırmaş I (kg/m ³)	367	362	362	410	405	405
Kırmaş II (kg/m ³)	524	518	518	586	579	579
Akışkanlaştırıcı (kg/m ³)	0	0	0	5,2	5,2	5,2
Rötre azaltıcı (SRA) (kg/m ³)	0	8	8	0,0	8,0	8,0
Su/Çimento	0,53	0,53	0,53	0,33	0,33	0,33
(Su+SRA)/Çimento	0,53	0,55	0,55	0,33	0,35	0,35
SRA/Çimento	0	2%	2%	0	2%	2%
Çökme (cm)	9	13	13	17	22	21
Birim Ağırlık (kg/m ³)	2380	2390	2370	2540	2500	2500

Üretilen betonlar 53SRAx veya 33SRAx olarak isimlendirildi. Burada 53 ve 33 betonun su/çimento oranını ifade etmektedir. 53SRA su/çimento oranı 0,53 olan betonu, 33SRA ise 0,33 olan betonu göstermektedir. SRA'dan sonra gelen 0 rakamı betonda rötre azaltıcı katkı olmadığını, 1 ve 2 rakamları ise katkı içeren karışımları ifade etmektedir. SRA1 ve SRA2 olarak isimlendirilen rötre azaltıcı katkıların oranları tüm betonlarda çimento ağırlığının %2'si olarak sabit oranda kullanılmıştır.

Betonlara ilave olarak, bu betonların harç fazları da çalışmada üretildi. Bu harç fazlarında çimento, su ile doğal ve kırma kum kullanıldı. Kullanılan agreganın maksimum tane boyutu 4 mm olduğu için daha küçük numunelerin üretilmesi mümkün oldu. Bu harç bileşimleri Tablo 2'de verilmektedir.

Tablo 2. Harç bileşimleri ve bazı taze beton özellikleri

	53SRA0	53SRA1	53SRA2	33SRA0	33SRA1	33SRA2
Çimento (kg/m ³)	600	597	597	640	635	635
Su (kg/m ³)	318	316	316	210	210	210
Doğal Kum (kg/m ³)	588	577	577	700	685	685
Kırma Kum (kg/m ³)	680	667	667	807	793	793
Akışkanlaştırıcı (kg/m ³)	0	0	0	8,3	8,3	8,3
SRA (kg/m ³)	0	12	12	0,0	12,7	12,7
Su/Çimento	0,53	0,53	0,53	0,33	0,33	0,33
(Su+SRA)/Çimento	0,53	0,55	0,55	0,33	0,35	0,35
SRA/Çimento	0	2%	2%	0	2%	2%
Yayılma (cm)	40cm/3sn	45cm/3sn	45cm/3sn	80cm/ 20sn	80cm/ 15sn	80cm/ 15sn
Birim Ağırlık (kg/m ³)	2230	2220	2230	2350	2340	2350

Tablo 1 ve Tablo 2 incelendiğinde rötre azaltıcı katkıların işlebilmeyi arttırdığı görülür. 0,53 su/çimento oranı için normal betonun çökmesi 9 cm iken katkılı betonlarda çökme 13 cm'e çıkmaktadır. Benzer durum düşük su/çimento oranlı beton için de geçerlidir. Harçlarda ise yayılma çapları artmış, aybı yayılma çapına ulaşma süreleri ise azalmıştır.

Yapılan Deneyler

Üretilen beton karışımlarının basınç dayanımlarını belirlemek için Ø100x200mm silindir numuneler, rötre ölçümleri için ise 100x100x500 mm boyutlu prizma numuneler hazırlandı. Harç numunelerdeki rötre ölçümleri için ise 40x40x160 mm ebatlı prizmalar üretildi. Üretilen numuneler 24 saat sonra kalıplardan çıkartıldı. Basınç deneyi uygulanan numuneler deneyin

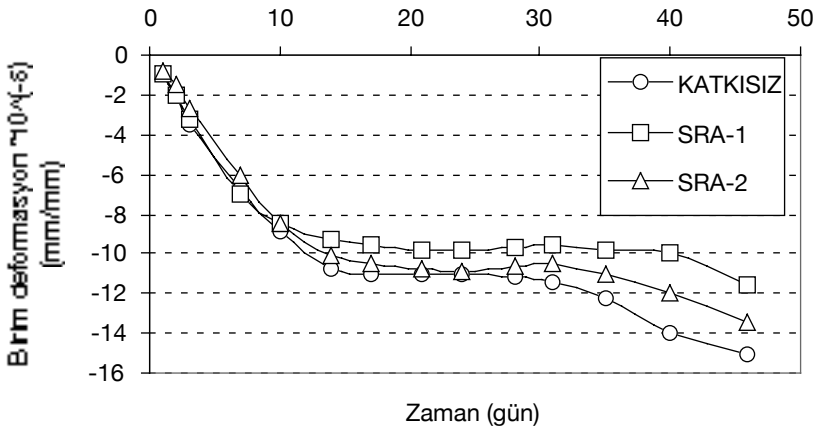
yapılacağı 28. güne kadar su içinde bekletilirken rötre deneyi için kullanılan numuneler ise 20°C sabit sıcaklık ve %50 rutubete sahip laboratuvarında tutularak belirli aralıklarla numunelerde oluşan boy değişimleri ölçüldü. Belirlenen bu boy değişimleri kullanılarak numunelerde oluşan birim deformasyonun zamanla değişimi elde edildi. Rötre ölçümlerine ilave olarak harç numunelerdeki ağırlık kayıpları da belirlendi. Tüm deneyler 4'er adet numune üzerinde gerçekleştirildi.

DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

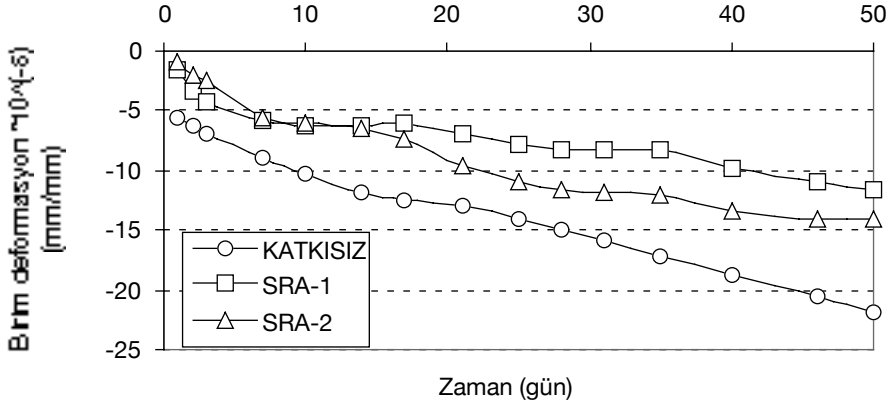
Rötre Ölçümleri

Beton Karışımları

Rötre azaltıcı katkı kullanımının beton numunelerindeki rötre etkileri Şekil 1 ve Şekil 2'de verilmektedir. Şekil 1'de görüldüğü gibi düşük su/çimento oranlı karışımlar için rötre azaltıcı katkıların etkileri ilk günlerde belirgin değildir. Daha sonraki günlerde ise rötre azaltıcı katkı içermeyen numunelerde ölçülen rötrenin daha fazla olduğu görülmektedir. Bu su/çimento oranıyla üretilen betonlarda için SRA-1 katkısı içeren karışımlarda rötrenin diğerlerine göre en az olduğu şekilden görülmektedir.



Şekil 1. Rötre azaltıcı katkıların 0,33 su/çimento oranına sahip betonlarda rötre etkisi



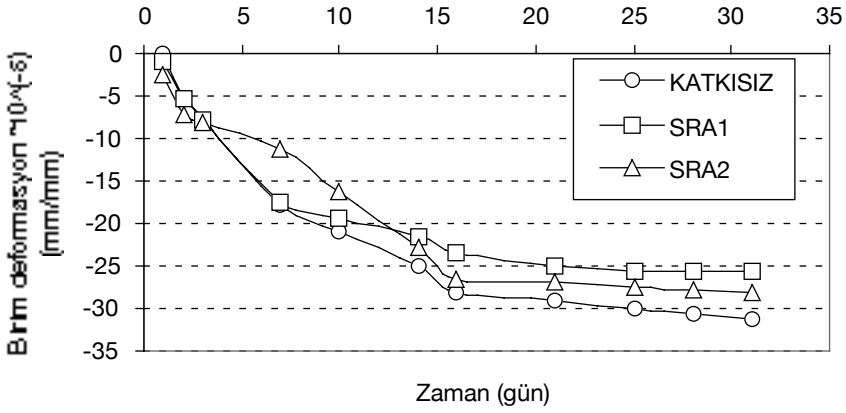
Şekil 2. Rötreye azaltıcı katkıların 0,53 su/çimento oranına sahip betonlarda rötreye etkisi

Yüksek su/çimento oranlarına sahip betonlarda da SRA-1 katkısı içeren karışımlarda ölçülen rötreye değerleri en düşüktür, katkısız betonların rötresi ise diğerlerine göre çok daha fazladır (Şekil 2). SRA-1 kullanılmış beton numuneler katkısız numuneye göre son günlerde ortalama % 46 oranında rötreyi azaltırken SRA-2 katkısı aynı sürede rötreyi yaklaşık % 35 oranında azaltmıştır.

Şekil 1 ve 2 karşılaştırıldığında su/çimento oranının artmasıyla birlikte rötrenin de arttığı görülmektedir. Fazla miktarda su içeren karışımlarda suyun kaybolmasıyla oluşacak rötreye de fazla olacaktır. Şekillerden görüldüğü gibi SRA-1 ve SRA-2 katkılı beton numunelerinde ise su/çimento oranı artışıyla rötreye miktarlarında kayda değer bir değişim elde edilmemiştir.

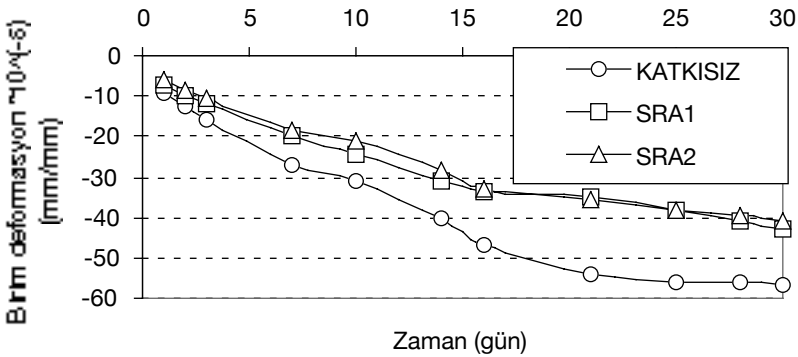
Harç Karışımları

Rötreye azaltıcı katkıların 0,33 su/çimento oranına sahip harçlarda rötreye etkisi Şekil 3'de görülmektedir. Beton karışımlarında elde edilen sonuçlara benzer şekilde, katkı içeren harç numunelerde ölçülen rötreye değerleri kontrol betonuna göre daha düşüktür. 0,33 su/çimento oranlı harçlarda beton karışımlarına benzer şekilde ilk günlerdeki sonuçlar birbirlerine çok yakındır. Sonraki günlerde ise numuneler arasındaki farklar belirgenleşmiş, SRA-1 katkısı yaklaşık % 18 oranında, SRA-2 katkısı ise yaklaşık % 10 oranında rötreyi azaltmıştır.



Şekil 3. Rötreye azaltıcı katkıların 0,33 su/çimento oranına sahip harçlarda rötreye etkisi

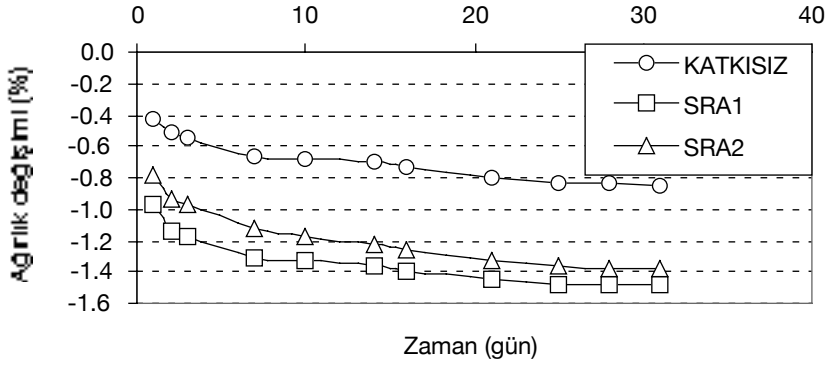
Yüksek su/çimento oranına sahip harçlarda rötreye azaltıcı katkıların etkisi daha belirgindir. Şekil 4'ten görüldüğü gibi ilk günlerden itibaren bu katkıları içeren harçlarda ölçülen rötreye kontrol karışımına göre daha azdır. Rötreye azaltıcı katkı içeren karışımlardan elde edilen sonuçlar arasında ise fazla bir fark elde edilmemiştir. Şekil 3 ve Şekil 4 karşılaştırılırsa su/çimento oranının etkisi de ortaya konulabilir. Betonda elde edilen sonuçlara benzer şekilde yüksek su/çimento oranına sahip numunelerdeki rötreye daha fazla gerçekleşmiştir.



Şekil 4. Rötreye azaltıcı katkıların 0,53 su/çimento oranına sahip harçlarda rötreye etkisi

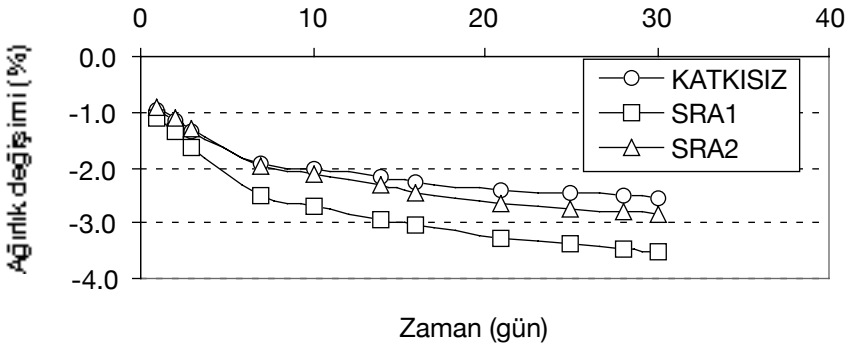
Ağırlık Kaybı

Harç numunelerin ağırlıklarının zamanla değişimleri kaydedildi. Şekil 5'de görüldüğü gibi su/çimento oranı 0,33 olan harç karışımlarında ağırlık kaybı en çok SRA-1 katkılı harçta, ardından SRA-2 katkılı harçta meydana gelmiştir. Katkısız kontrol karışımında ise ağırlık kaybı en azdır. Benzer durum yüksek su/çimento oranında da geçerlidir (Şekil 6).



Şekil 5. 0,33 su/çimento oranına sahip harçlarda ağırlık değişimi

Şekil 5'te görüldüğü gibi düşük su/çimento oranı için rötre azaltıcı katkı içeren ve içermeyen numuneler karşılaştırıldığında aralarındaki ağırlık kayıpları belirgindir. Yüksek su/çimento oranı için ise katkılı ve katkısız numuneler arasındaki farklar nispeten daha azdır.



Şekil 6. 0,53 su/çimento oranına sahip harçlarda ağırlık değişimi

Basınç Dayanımı

Üretilen betonların 28 günlük basınç dayanımları Tablo 3’de verilmektedir. Görüldüğü gibi ağırlıkça % 2 oranında rötre azaltıcı katkı içeren betonların dayanımları kontrol betonlarından düşüktür. 0,33 su/çimento oranı için SRA-2 katkılı numunelerin basınç dayanımları normal betona göre % 18 düşük dayanımlıdır. SRA-1 katkılı numunelerde ise bu dayanım azalması % 25’e ulaşmıştır.

Tablo 3: Rötre azaltıcı katkıların beton basınç dayanımına etkisi

Su/çimento oranı:	Basınç dayanımı (MPa)	
	0,33	0,53
Katkısız	90	51
SRA-1 Katkılı	68	44
SRA-2 Katkılı	77	47

Yüksek su/çimento oranlı betonların dayanımlarda da azalmalar söz konusudur. Katkısız kontrol betonu ile karşılaştırıldığında SRA-2 katkılı numunelerde % 8, SRA-1 katkılı numunelerde ise % 14 oranında dayanım kaybı meydana gelmiştir. Rötre azaltıcı katkı içeren betonlarda dayanımların azalması başka çalışmalarda da elde edilmiştir [10]. Bu durum rötre azaltıcı katkının çimento hidrasyonu üzerindeki etkilerine ve kür koşullarına bağlı olarak gelişebilir.

SONUÇ

Bu çalışmada aynı oranda rötre azaltıcı katkı içeren beton ve harç numunelerde rötre ölçümleri yapılmıştır. Laboratuvarında sınırlı sayıda numune üzerinde yürütülen bu deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmektedir:

1. Rötre azaltıcı katkı içeren beton ve harç numunelerde elde edilen rötre değerleri kontrol karışımlarına göre daha daha yüksektir. Kullanılan katkılardan biri diğerine göre daha etkilidir.
2. Rötre azaltıcı katkı içeren harçlarda ağırlık kaybı daha fazla gerçekleşmiştir. Düşük su/çimento oranlı harçlarda rötre azaltıcı katkı içeren ve içermeyen numuneler arasındaki ağırlık kayıpları belirgindir
3. Rötre azaltıcı katkı içeren betonların basınç dayanımları daha düşüktür. Dayanımdaki bu azalma % 25’e kadar ulaşmıştır.

KAYNAKLAR

1. Neville, A.M., 2004. Properties of Concrete, Pearson Prentice Hall, Essex, 804 pp.
2. Nmai, C.K., Tomita, R., Hondo, F. ve Buffenbarger, J., "Shrinkage reducing admixtures", Concrete International, April 1998, pp. 31-37.
3. Rongbing, B. ve Jian, S., "Synthesis and evaluation of shrinkage-reducing admixture for cementitious materials", Cement and Concrete Research, 35, 2005, pp. 445 – 448.
4. Ai, H., and Young, J.F., 1997. "Mechanisms of Shrinkage Reduction Using a Chemical Admixture," 10th International Congress on the Chemistry of Cement, ed. Justnes, H., Gothenburg, Sweden, Vol. 3, pp. 18 - 27 .
5. Pease, B.J., "The role of shrinkage reducing admixtures on shrinkage, stress development, and cracking", MSc. Thesis, Purdue University, 2005, 236 p.
6. Bentz, D.P. ve Olsen, O.M., "Mitigation strategies for autogenous shrinkage cracking", Cement and Concrete Composites, Vol. 26, 2004, pp. 677 – 685.
7. Bentz, D.P., Geiker, M.R. ve Hansen, K.K., "Shrinkage-reducing admixtures and early-age desiccation in cement pastes and mortars", Cement and Concrete Research, 31, 2001, pp. 1075–1085.
8. Bentz, D.P., "Curing with Shrinkage reducing admixtures", Concrete International, October 2005, pp. 55 – 60.
9. Bentz, D.P., "Influence of Shrinkage-Reducing Admixtures on Early-Age Properties of Cement Pastes", Journal of Advanced Concrete Technology, 4 (3), 2006, pp. 423-429.
10. Folliard, K.J. ve Berke, N.S., "Properties of high-performance concrete containing shrinkage-reducing admixture", Cement and Concrete Research, 27, 1997, pp. 1357 – 1367.

LABORATUVAR VE GERÇEK ÜRETİM ŞARTLARINDA HİPER AKIŞKANLAŞTIRICI SEÇİMİ

Mehmet MUTLU
Kalite Müdürü
İnş.Yük.Müh.
Nuh Beton A.Ş.
İstanbul, Türkiye

Emrah KARATAŞ
Avrupa Böl.
Kalite Müh.
İnş.Yük.Müh.
Nuh Beton A.Ş.
İstanbul, Türkiye

Erbil ÖZTEKİN
Teknik Danışman
Prof. Dr.
Nuh Beton A.Ş.
İstanbul, Türkiye

Orhan KEKLİK
Kalite-Kontrol Şefi
İnş.Müh.
Hema Endüstri A.Ş.
İstanbul, Türkiye

ÖZET

Bu çalışmada; İstanbul – Maslak'ta başlayan, bittiğinde Türkiye'nin en yüksek yapısı olacak projede kullanılan C 45/55 ve C 50/60 sınıfı betonlarda, yaz aylarında kullanılacak Hiper Akışkanlaştırıcı(HA) katkının seçilmesinde izlenen yöntem anlatılmıştır. Betonların 380 - 420 kg/m³ dozajlı, üretimi S5, teslimi S4 kıvamında ve pompa ile uzun mesafelere basılacak olması nedeniyle, kimyasal katkının kıvam koruması önem arz etmektedir.

Laboratuvar ortamında, tek tip çimento (CEM I 42,5 R) ve farklı üreticilere ait hiper akışkanlaştırıcı katkıları denenmiştir. Denemelerde aynı katkı yüzdesi, farklı Eşdeğer Su/Bağlayıcı oranlarında, ancak eşdeğer kıvam (çökme deneyi yerine çökme yayılması -*Slump-flow*- deneyi ile 70 ± 5 cm) hedeflenerek, numuneler üretilmiştir. Kimyasal katkıların kıvam koruma ve 1-7-28 günlük basınç dayanımları üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir.

Laboratuvar değerlendirmesinde sonuçların oldukça yakın seyretmesi nedeniyle, söz konusu kimyasal katkıların performansları sahada, gerçek

üretim şartlarında da izlenmiştir. Hazır beton santralinde, beton imalatında sırayla her kimyasal katkıdan 5'er ton seri üretimde kullanılmış ve normalin iki katı numune alınarak, denemeler tamamlanmıştır.

Sonuç olarak, kıvam koruması, kıvam istikrarı, 1-7-28 günlük basınç dayanımları ve fiyat/kalite performansı dikkate alınarak en uygun katkı tercih edilmiştir. C 45/55 ve C 50/60 gibi yüksek beton sınıflarında, laboratuvar koşullarında yapılan değerlendirmelerin, sahada yapılacak değerlendirmeler ile desteklenmesinin yararlı olacağı düşünülmektedir.

GİRİŞ

Nüfus artışı, kentleşmeye paralel olarak beton teknolojisinin gelişimiyle beraber, konut-ofis gibi ihtiyaçların karşılanmasında çok katlı yüksek yapılar etkili bir çözüm olarak karşımıza çıkmaktadır. Yapılarda kat sayısının artmasının yanı sıra, dayanımı yüksek beton sınıfları tercih edilerek kolon, perde gibi düşey taşıyıcı elemanların boyutları da küçültülebilmekte ve böylelikle kullanım alanları da arttırılabilmektedir.

Dayanımı yüksek beton üretebilmek için, üretimde kullanılacak hammaddelerin de projede istenen beton sınıfını elde etmeye olanak sağlayacak nitelikte olması gerekmektedir. Yani agrega, çimento ve kimyasal katkıların kalitesinin ve kalite istikrarının önemi artmaktadır.

Proje ve betonlarına ilişkin daha ayrıntılı bilgi 6. Ulusal Beton Kongresi'nde verilmişti [1]. Söz konusu projeye hizmet veren hazır beton santralinde Cebeci yöresinden kireç taşı kökenli kalker Mırcı tercih edilmiştir [2]. Bu mırcının tercih edilmesiyle çimento dozajı 400 kg/m^3 mertebelerine indirilebilmiş, yüksek dozajdan ötürü açığa çıkacak aşırı hidrasyon ısı düşürülmüş, rötre çatlakları potansiyeli azaltılmış, ayrıca ekonomi de sağlanmıştır.

HA seçiminde basınç dayanımının ve kıvam korumanın dışında kıvam istikrarı da önem arz etmektedir. Bu tür katkılar çimento ve mineral katkı dışında ince agregaya da duyarlı davranmakta, performansları ince agreganın kimyasal yapısındaki veya çok ince malzeme içeriğindeki değişikliklerden kayda değer ölçüde etkilenebilmektedir.

AMAÇ

Yaz aylarında hava sıcaklığının artmasıyla birlikte taze betondaki kıvam kayıpları da artmaktadır. Karışım suyu miktarının az, çimento dozajının geleneksel betonlara göre fazla olması, kıvam kaybı artışını olumsuz yönde

etkilemektedir. Kıvam kayıplarını azaltmak ve kıvam koruma özelliğini iyileştirmek için, performansı buna en uygun kimyasal katkının tespit edilmesi amaçlanmıştır. Bu doğrultuda, laboratuarda oldukça yakın seyreden sonuçları sahada incelemek gereği de doğmuştur.

DENEYSEL ÇALIŞMA

Malzemeler

Bütün karışımlarda CEM I 42,5 R tipi çimento, Kemerburgaz yöresi Doğal Kum, hazır beton firmasının Merkez laboratuvarında ve santralde yapılan denemelerde Cebeci yöresine ait No. 1 - 2 Mıdır agrega ve Ayazağa yöresine ait yıkanmış Kırmı Kum kullanılmıdır. Kullanılan agregalara ilişkin özellikler Tablo 1'de, çimento özellikleri Tablo 2'de ve karışım miktarları Tablo 3'de verilmektedir.

Beton üretiminde kullanılan çimento CEM I 42,5 R tipindedir. Çimentonun 28 günlük mukavemeti ortalama 57 MPa mertebesinde olup, standart sapması 1,7 MPa dır. Kimyasal bileşim incelendiğinde C_3A miktarının oldukça düşük (%5'in altında) olduğu görülmektedir. Çimentonun bu özelliği, sülfat atağına karşı bir garanti sağlarken, betonun ileri yaşlarında da mukavemet kazanmasına olanak vermektedir (Tablo 2).

Karışım miktarlarına bakıldığında, yüksek çimento dozajı da dikkate alınarak, ince madde yönünden oldukça zengin olduğu görülmektedir. Bu durum pompalanabilirliği ve işlenebilirliği kolaylaştırırken, su ihtiyacını arttırmaktadır. Bu nedenle karışım suyunu azaltmak ve dolayısı ile Eşdeğer Su/Bağlayıcı oranını düşürmek için, çimento dozajının %1,3'ü oranında polikarboksilat esaslı Hiper Akışkanlaştırıcı (HA) katkı kullanılmıdır.

DeneySEL Çalışma

Öncelikle hazır beton firmasının Merkez laboratuvarında, dozaj ve çökme yayılmaları sabit tutularak 4 katkı ile deneme karışımları yapılmıdır. Taze haldeki işlenebilirliğin tayininde çökme yayılması değeri dikkate alınmış ve 70 ± 5 cm hedeflenmiştir. 30 dakikalık ve 60 dakikalık yayılma kayıpları ölçülmüştür. 1, 7 ve 28 günlük basınç dayanımlarını belirlemek üzere 15x30 cm ebatlı silindir numuneler alınmıştır. Kıvam koruma, 1, 7 ve 28 günlük basınç dayanımları değerlendirilmiştir. Farklı üreticilere ait kimyasal katkı performansları değerlendirildiğinde, üretilen numunelerin basınç dayanımlarının birbirlerine oldukça yakın seyrettiği ve anlamlı farklar olmadığı gözlenmiştir. Bu noktada, laboratuarda denenen katkıların, hazır

beton santralinde endüstriyel ölçekte denenerek nihâî kararın verilmesi planlanmıştır.

Katkıların gerçek üretim şartlarında birbirleri ile kıyaslanacak olması nedeniyle, hava sıcaklıklarının çok fazla değişkenlik göstermediği bir dönem seçilmiş ve hazır beton tesisinde, her katkıdan 5'er ton kullanılmıştır. Çökme yayımları ölçülmek sureti ile kıvamlar ve kıvam kayıpları tespit edilmiş ve normal şartlarda alınması gerekenden daha fazla sayıda numune alınarak 7 ve 28 günlük dayanımlar ölçülmüştür.

Tablo 1. Deneyleerde kullanılan agregalara ait özellikler

Özellikler	Doğal Kum (0 - 1)	Kırma Kum (0 - 5)	I No. Mıdır (5 - 12)	II No. Mıdır (12 - 22mm)
Özgül ağırlık, gr/cm ³	2,64	2,64	2,70	2,71
Su emme, %	1,2	1,6	0,5	0,6
İnce madde miktarı, %	1,0	5,3	1,2	0,5

Tablo 2. Deneyleerde kullanılan çimentooya ait özellikler

	Blaine (cm ² /g)	Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	Basınç Dayanımı (N/mm ²) 2 Günlük 28Günlük		2/28 Oranı	Priz başı-sonu (dakika)	
Minimum	2.832	3,19	24,2	54,5	0,42	140	178
ORTALAMALAR	3.173	3,22	25,8	57,0	0,45	166	209
Maksimum	3.543	3,25	28,1	60,8	0,48	202	298
Numune Sayısı	52	52	52	52	52	52	52
Standart Sapma	167	0,01	0,9	1,7	0,01	15	28
TS EN 197-1			>=20,0	>42,5 <62,5		>=60	

Tablo 3. 1 m³ karışıma giren miktarlar

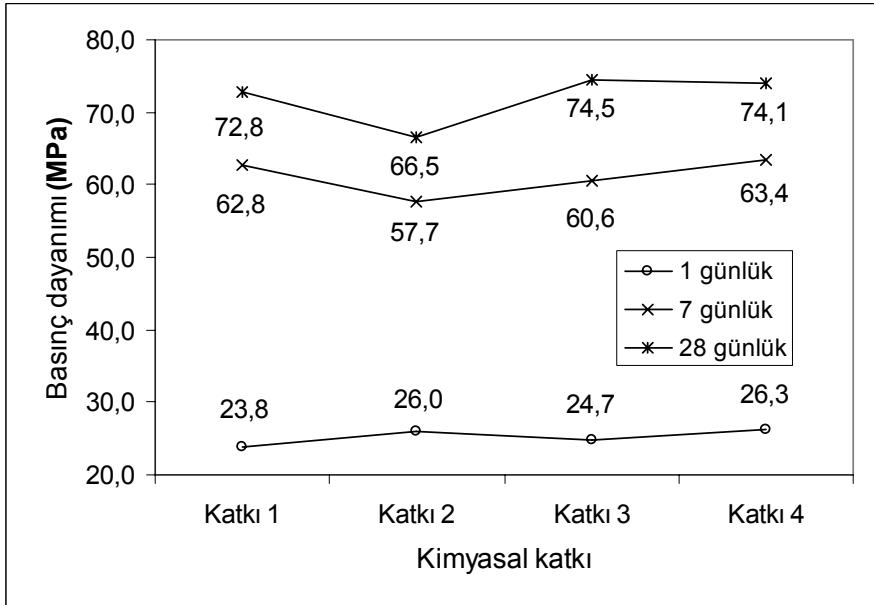
Bileşenler	Çimento	Su	Su/Bağlayıcı (Eşd.)	Doğal Kum	Kırma Kum	I No. Mıdır	II No. Mıdır	Kimyasal katkı
(kg/m ³)	410	148	0,37	496	358	511	513	5,33

Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Merkez Laboratuarda yapılan deneyleerde elde edilen basınç dayanımı değerleri Şekil 1'de verilmektedir. Bu grafikte, kullanılan dört katkının basınç dayanımına etkisi gösterilmektedir. 1 günlük basınç dayanımları değerlendirildiğinde, Katkı 1'in en düşük değeri aldığı, Katkı 2 ve Katkı

4'lü beton dayanımlarının diğer iki katkıya göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Ancak her dört katkı ile de yeterli erken dayanım elde edilebilmektedir.

28 günlük basınç dayanımları değerlendirildiğinde; Katkı 2 dışındaki katkıların, basınç dayanımı değerlerinin birbirine oldukça yakın seyrettiği görülmektedir. Ancak Katkı 2 ile bile 28 günlük basınç dayanımının rahatlıkla sağlandığı görülmektedir. Performansın fayda/maliyet'in bir fonksiyonu olduğu unutulmamış, Katkı 2' nin fayda hesabı yapılabilecek maliyette olduğu görülmüş ve saha incelemesine o da alınmıştır [3].



Şekil 1. Laboratuvar şartlarında 1, 7 ve 28 günlük basınç dayanımları

Alıcının izni alınmak suretiyle her katkıdan 5'er tonunun gerçek üretim şartlarında denenerek performans kıyaslamasının yapılması kararlaştırılmıştır.

Bu kararın ardından katkılar sırası ile temin edilmiş, alıcının gün içerisindeki beton taleplerinde sürekli aynı formül kullanılmış, değişken sadece kimyasal katkı olmuştur. Bu zaman dilimi içerisinde, beton basınç dayanımlarının takip edilmesi için, normalde alınması gerekenden fazla sayıda 15x30 cm ebatlı silindir numuneler alınmıştır. Ayrıca santral çıkışı ve teslim esnasındaki kıvamlar da kaydedilmiştir.

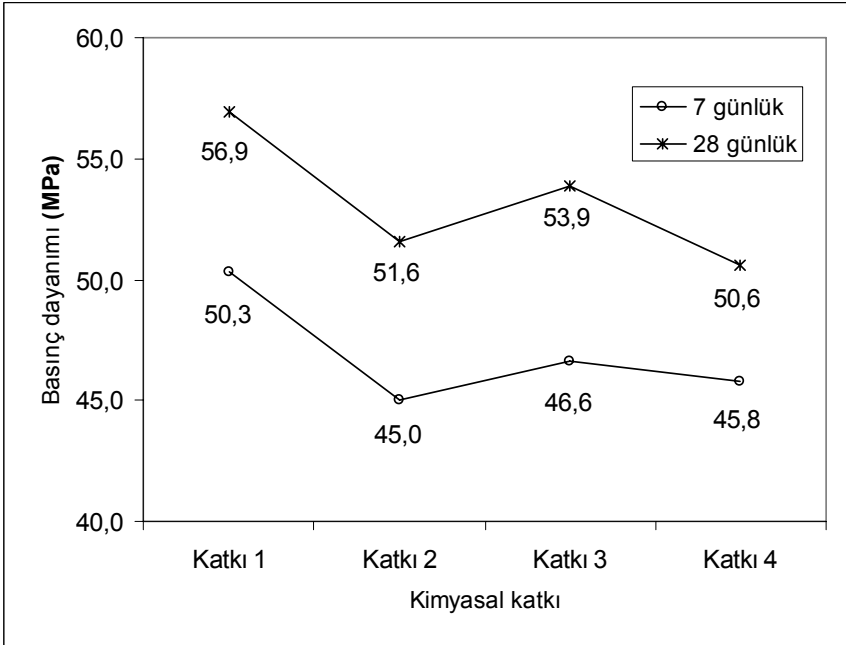
Şekil 2'de gerçek üretim koşullarında alınan numunelerin basınç dayanımları ortalamasının değişimi görülmektedir. En yüksek dayanımı Katkı

1 vermiş, ikinci sırayı Katkı 3 almıştır. Laboratuarda en düşük performansı gösteren Katkı 2 sahada da düşük performans sergilemiş, Katkı 4 ise laboratuarda gösterdiği performanstan uzak kalmıştır.

Kıvam kayıpları değerlendirmesine gelince;

Katkı 1, Tesis ile şantiye arasında 2 cm kıvam kaybederek , en iyi performansı göstermiş, Katkı 3 4 cm kıvam kaybıyla ikinci gelmiş, Katkı 4 ve Katkı 2 5 ve 6 cm kıvam kaybıyla daha geride kalmıştır.

Şantiye yetkilileri, Katkı 3 ile üretilen betonda transmikserler arasında kıvam, hareket kabiliyeti, işlenebilirlik açısından daha büyük bir istikrar gözlemiş, Katkı 4'lü betonlar arasında aynı istikrarı göremediklerini ifade etmişlerdir.



Şekil 2. Gerçek üretim şartlarında 7 ve 28 günlük basınç dayanımları

SONUÇ

Farklı kimyasal katkı üreticilerine ait HA'ların değerlendirildiği bu çalışmada aşağıdaki sonuçlara varılmıştır.

1. Piyasa şartlarında satışa sunulan HA'ların beton karışımına % 1,3 oranında katıldığında gerek laboratuvar, gerekse saha şartlarında yapılan üretimlerde C 45/55 – C 50/60 betonların rahatlıkla elde edilebildiği görülmüştür.

2. Laboratuvar denemelerinde yakın sonuçlar veren katkıların, gerçek üretim şartlarında daha farklı davranabildiği görülmüştür. Bu nedenle, alıcının talep ettiği beton sınıfının sağlandığından emin olunduktan sonra, bu katkı ile gerçek üretim şartlarında da deneme yapılması, katkı seçiminde uygun bir yöntem görünmektedir.
3. Performans değerlendirmelerinde, basınç dayanımı veya diğer teknik özellikler ile birlikte, seri üretimde istikrar performansı ve katkı maliyeti de göz önüne alınarak ekonomik tercihler yapılmalıdır. Projede dayanım ve kıvam koruma açılarından yakın performansa sahip Katkı 1 ve Katkı 3 arasından, seri üretimde istikrarı daha yüksek ve birim fiyatı daha düşük olan Katkı 3 tercih edilmiştir.

KAYNAKLAR

1. ÖZTEKİN, E. ve KEKLİK, O., “Yüksek Yapı İnşaatında Yüksek Kıvamlı, Yüksek Kıvam Korumalı, C 45 Sınıfı Beton Kullanımı”, 6. Ulusal Beton Kongresi Bildiriler Kitabı, 385 – 392 sayfa, İstanbul, 2005.
2. AGÜB, THBB, TMMOB Maden Müh. Odası İstanbul Şubesi Ortak Görüş Raporu, “Cebeci Bölgesi Taşocakları Durum Değerlendirmesi,” Hazır Beton Dergisi, Sayı 65, Eylül-Ekim 2004, 64-68 sayfa
3. MUTLU, M. ve ÜNAL, T., “Katkı Maddesinin Tercihi ve Kontrolü,” 4. Ulusal Beton Kongresi Bildiriler Kitabı, 35 – 44 sayfa, İstanbul, 1996.