
SOĞUK HAVADA DÖKÜLEN BETON ÖZELLİKLERİNE KİMYASAL KATKILARIN ETKİSİ

Ali Raif SAĞLAM
İnş.Yük.Müh.
Sika Yapı Kimyasalları
İstanbul,Türkiye

Nazmiye PARLAK
Kimya Müh.
Sika Yapı Kimyasalları
İstanbul,Türkiye

ÖZET

Betonda donma olayı, taze betonun donması ve sertleşmiş betonun donması olarak iki aşamada incelenebilir. Her iki durumda da betonu don olayının olumsuz etkilerinden korumak için alınması gereken önlemler farklılık göstermektedir. Bu çalışmada, soğuk havada beton üretimi sırasında don etkisinin ortaya çıkması durumunda kullanılan kimyasal katkıların sertleşmiş beton özelliklerine etkisi incelenmiştir.

Deneylerde, çimento dozajı 350 kg/m^3 olarak seçilmiş ve benzer kıvamda beton üretimi esas alınmıştır. Kullanılan süperakışkanlaştırıcı katkıları, 2 farklı melamin sülfonat ve lignosülfonat karışımı, modifiye lignosülfonat ve hızlandırıcı tuzlar içeren melamin sülfonat çözeltileridir. Ayrıca 2 farklı hızlandırıcı katkı kullanılmıştır. Hazırlanan ve plastik kalıplara dökülen beton karışımlarının üzerlerine cam yünü ve cam örtülerek, soğuk hava dolabına konulmuş ve 2 farklı saklama koşulunda test edilmişlerdir.

Deneysel çalışma sonucunda, ilk 24 saati 5°C sıcaklıkta saklanan seride, 1 günde katkısız karışımın kritik dayanımı zor da olsa sağladığı, kimyasal katkı kullanılan betonlarda ise bu dayanımın rahatlıkla aşıldığı görülmüştür. Kış şartlarının gündüz

ve gece koşulları esas alınarak (12 saat + 5°C, 12 saat - 5°C) saklanan seride ise, hızlandırıcı tuzlar içeren melamin sülfonat karışımının bir günde istenilen kritik dayanım değerini rahatlıkla sağladığı, diğer katkıli betonlarda ise bu dayanım değerine ulaşmak için en az 2 güne ihtiyaç duyulduğu görülmüştür.

GİRİŞ

Betonda donma olayı, taze betonun donması ve sertleşmiş betonun tekrarlı donma-çözülme etkileri altında kalması olarak iki aşamada incelenebilir [1]. Bu çalışmada, taze betonun don etkisine maruz kalması ve soğuk havada beton üretimi sırasında değişik özellikte kimyasal katkı kullanılmasıyla sertleşmiş beton özelliklerine etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır.

Günlük ortalama hava sıcaklığının ardı ardına üç gün süre ile +5°C'nin altında olduğu hava durumu, TS 1248'de beton dökümü için soğuk hava olarak tanımlanmaktadır [2]. ACI 306'ya göre ise soğuk hava, ardışık üç gün süresince günlük ortalama hava sıcaklığının 5°C'den az olması ve bu süre içinde herhangi bir gün 12 saat boyunca 10°C'den fazla olmaması olarak tanımlanmaktadır [3]. Bu nedenle gündüz hava sıcaklığının yeterince yüksek olduğu, buna karşılık geceleri 0°C ve altına düştüğü, kıştan ilkbahara veya sonbahardan kışa geçiş dönemleri de özellikle risk taşımaktadır [4].

Beton henüz taze halde iken don olayı ile karşılaşır, karışım suyu donarak betonda hacim artışına yol açar. 0°C 'de beton içindeki su donduğunda hacminin %9'u kadar genişler ve başlangıçta zayıf olan çimento ve agrega ara yüzündeki bağları koparır. Beton karışımında bulunan su kimyasal reaksiyonlar için kullanılamayacağı için çimentonun su ile yapacağı hidratasyon olayı, dolayısı ile betonun sertleşmesi durur; betonun prizi ve sertleşmesi gecikir. Don olayı sona erdikten sonra hidratasyon olayı devam eder ve beton dayanım kazanmayı sürdürür. Ancak oluşan beton, suyun genleşmesinden dolayı boşluklu olacağından dayanım ve dayanıklılığı düşer. Bu durumu önlemek için çözülme ile birlikte betona hemen vibrasyon uygulanmalıdır [1].

Prizini almış ancak yeterli dayanıma ulaşmadan don etkisine maruz kalmış betonda serbest suyun fazla olması nedeni ile oluşan genleşme kuvvetleri taneler arası kohezyonu bozar [5]. Çimento hamuru da bu kuvvetlere direnecek dayanıma ulaşmadığından betonun iç yapısı bozulur ve dayanım kayıpları meydana gelir [6]. Bu aşamada sürüklenmiş hava boşluklarının da bir fonksiyonu yoktur [7]

Gerekli önlemler alınmadığı takdirde, soğuk hava koşullarında üretilen ve yerleştirilen taze betonların priz alma süresi, düşük sıcaklıklarda çimentonun hidratasyonu çok yavaş ilerlediği için, normal koşullarda üretilen betona göre daha uzun, dayanım kazanma hızı ise daha yavaştır. Yine bu koşullarda üretilen betonlar henüz priz almadan veya yeterli dayanımı henüz kazanmamışken betonun içerisindeki suyun bir kez dahi donması, betonun dayanım ve dayanıklılığını önemli ölçüde düşürür. Soğuk hava koşullarında yerine yerleştirilen betonların sıcaklığı ile çevre sıcaklığı arasında büyük fark olması durumunda, betonda gerilmeler oluşmakta ve çatlaklara yol açmaktadır [4].

Soğuk hava koşullarında, betonların sıcaklıklarının üretim ve yerine yerleştirme sonunda belirli bir değerden az olmaması, yerine yerleştirildikten sonra da iç sıcaklıklarının hızlı bir şekilde azalmaması gereklidir. Tablo 1'de soğuk hava koşullarında üretilen betonların çeşitli aşamalarda sahip olması gereken sıcaklıklar verilmiştir [3].

Tablo 1. Soğuk Hava Koşullarında, Betonların Üretim ve Yerine Yerleştirme Sonunda Sahip Olması Gereken Sıcaklıklar [3]

Beton Kesit Kalınlığı	Üretim Sonrasında İstenilen Minimum Sıcaklık (°C)		Yerleştirme Sırasında İstenilen Minimum Sıcaklık, (°C)	Koruma Süresi Sonunda Maksimum Sıcaklık Kaybı, (°C)
	Hava Sıcaklığı < -18 °C	Hava Sıcaklığı < -1 °C		
<30	21	16	13	28
30-90	18	13	10	22
90-180	16	10	7	17
>180	13	7	5	11

Betonun erken yaşlarda don hasarının önlenmesi için birbiri ile ilişkileri olan kritik yaş ve kritik dayanım kavramları geliştirilmiştir.

1.1. Kritik Dayanım Kavramı

Kritik dayanım kavramı, betonun donmaya karşı dirençli olduğu minimum dayanım olduğunu kabul eder. Ancak kritik dayanım değeri çeşitli standartlarda farklılıklar göstermektedir. İsveç'te 2,4-4,4 MPa, Kanada'da 6-10,3 MPa, Rusya'da 4,8-8,8 MPa, Japonya'da 5,9 MPa, İsviçre'de 14,5 MPa değerleri önerilmektedir [8]. Bu konuda TS 1248'de, betonun yaklaşık olarak 4 MPa'lık bir basınç dayanımına ulaşması halinde, su içeriğinin don nedeni ile zarar oluşturacak

seviyenin altına ineceği, iyi hazırlanmış bir betonun ise üç günde bu dayanım değerine ulaşabileceği belirtilmektedir [2]. ACI 306R-88'e göre, bir kez donma olayı karşısında betonun hasar görmemesi için bu dayanım değeri 3,5 MPa olarak belirlenmiş ve genel olarak +10 °C sıcaklıkta ve karışım oranları iyi belirlenmiş bir betonun bu değere 2 gün sonra ulaşabileceği öngörülmüştür [3]. Kritik dayanım değeri için beton sınıfına bağlı olarak sınıf dayanımının oranı şeklinde değerler de önerilmektedir. BS 20 için %30, BS 30 için %25, BS 40-50 için %10 gibi [9].

1.2. Kritik Yaş Kavramı

Kritik yaş kavramı, herhangi bir yaştaki betonun yeterince sağlamlaşması, doyumluk derecesinin yeterince düşmesi ve betonun başlangıç donmasının onu hasara uğratmaması için sahip olması gereken bir yaş öngörür. Bu kavram kür yöntemleri, dayanımı hızlandırmak için uygulanan metodlar ve/veya beton kesitinin kalınlığına göre belirlenen bir nitelikler ve yapının servis kategorisine ve hızlandırıcı ya da erken yüksek dayanımlı çimento kullanılıp kullanılmadığına bağlıdır. Genellikle kritik yaş, 8-48 saat arasında değişir ancak bazen daha uzun zaman periyotları gerekir. Örneğin ısı çatlaklardan korunmak için kütle betonlarının daha uzun süre korunması gibi [8].

Kritik yaş, aynı zamanda betonun kritik dayanıma ulaştığı zaman anlamına da gelmektedir [8]. Bu amaçla betonun belirli bir dayanıma erişmesi için beklenilmesi gereken süre "olgunluk" kavramı kullanılarak sağlanmalıdır [1].

$$\text{Olgunluk} = \sum (\text{Sıcaklık} + 12 \text{ } ^\circ\text{C}) \times \text{Süre (saat)} \quad (1)$$

Bu bağıntıya göre, belirli sıcaklıkta geçen süreler sıcaklık ile çarpılıp toplanarak [$^\circ\text{C} \times \text{saat}$] cinsinden olgunluk hesaplanabilir. Bu yaklaşıma göre, betonun -12 °C'nin altında hidratasyon olayı durur. Beton dayanımı olgunluğa bağlanabilir; Plowman aşağıdaki bağıntıyı vermiştir:

$$\text{Dayanım Oranı} = A + B \log_{10} \left(\frac{\text{Olgunluk}}{10^3} \right) \quad (2)$$

Burada dayanım oranı, belirli bir süre sonunda erişilen dayanım değerinin 18 °C sıcaklıkta 28 gün bekletilen beton standart dayanımına oranını gösterir. A ve B katsayıları betonun standart dayanımına bağlı olarak Tablo 2’de verilmiştir.

1.3. Soğuk Havada Beton Üretimi, Yerleştirilmesi ve Sonrasında Alınması Gereken Önlemler

Soğuk havada üretilecek ve yerleştirilecek betonların bu koşullardan etkilenmemesi için özel önlemler almak gereklidir [4].

Tablo 2. Plowman Katsayıları

Betonun 18 °C sıcaklıkta 28 günlük dayanımı [Mpa]	A [°C, saat]	B
< 17	10	68
17-35	21	61
35-52	32	54
52-69	42	46,5

Soğuk havada üretilen ve yerleştirilen betonların özellikle ilk günlerde dayanımlarının kalıp almak için istenenden daha düşük olması, kalıp alma süresini ve dolayısı ile toplam yapım süresini etkilediğinden, özellikle acil olarak yapılması gereken onarım veya zaman sınırlamaları olan projelerde bu koşullarda beton imalatının yapılması önem kazanmaktadır. Betonun ilk don olayı ile karşılaşmadan önce belirli bir minimum dayanıma erişmesi için alınması gereken önlemler belirli harcamaları gerektirir.

1.3.1. Beton Karışımını Oluşturan Malzemelerin Isıtılarak Kullanılması

Soğuk havada beton üretiminde kullanılacak malzemelerin sıcaklıkları düşük olacağından, bu malzemelerle üretilecek taze betonun sıcaklığı da düşük olacaktır [4]. Bu koşullarda Tablo 1’de öngörülen beton sıcaklıklarını sağlamak için beton bileşenlerinin (çimento dışında), önerilen beton sıcaklıklarından en fazla 8 °C daha yüksek olacak şekilde ısıtılması yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Suyun ısınma ısısı katı bileşenlerden 5 kat daha fazla olduğundan, karışım suyunu 60-65 °C yi geçmeyecek şekilde ısıtmak daha etkili bir çözümdür. Betonun sıcaklığı aşağıdaki bağıntıdan hesaplanabilir [10] :

$$T_b = \frac{t_c + At_a + 5Wt_s}{1 + A + 5W} \quad (3)$$

Burada, T_b , t_c , t_a ve t_s sırası ile betonun, çimentonun, agregası ve suyun sıcaklıklarını,

$A = \text{Agrega / Çimento oranı (ağırlıkça)}$,

$W = \text{Su / Çimento oranı (ağırlıkça)}$ ifade etmektedir..

Isıtılarak kullanılan suyun, çimentoda ani priz yapmaması ve çimento tanelerinin topaklanmaması için katılacak suyun derecesini bir miktar düşürmek amacı ile mikserde sıcak su kademeli olarak iri agregası ile birlikte, çimentodan önce verilmelidir.

Eğer suyun ısıtılarak kullanılması, taze beton iç sıcaklıklarının sağlanması için yeterli değilse, agregaların da içlerine yerleştirilen borulardan buhar geçirilmesi yolu ile ısıtılarak kullanılması yoluna gidilmelidir. Isıtılma işlemi buhar jetleri ile yapılacaksa, agregada sıcaklık ve su miktarı bakımından uniformluk sağlanmalıdır [11]

Eğer agregalar donmamış ise ve su 60 °C civarında ısıtılarak kullanılıyor ise sadece ince agreganın 40 °C'ye kadar ısıtılması yeterli olabilmektedir.

1.3.2. Uygun Çimento Tipi ve Dozajı Kullanılması

Soğuk havada beton yapımı için hidratasyon ısısı yüksek olan tipte çimento kullanılması, normal hava koşullarında üretilen karışımlara oranla çimento dozajının artırılması önerilmektedir. Çimento miktarının 60 kg/m³ artırılmasının, hem betondaki hidratasyon ısını hem de ilk günlerdeki dayanımları artıracağı öngörülmektedir [4].

1.3.3. Uygun Koruma Önlemlerinin Kullanılması

Soğuk hava koşullarında yerleştirilen betonların taze halde iken donmaması ve sözü edilen dayanım değerine ulaşmaya kadar beton sıcaklığının yeterli bir süre korunması gereklidir. Bu amaçla, beton yapı dışarıdan cam yünü benzeri koruyucu

örtülerle kapatılarak hidratasyon sonucu oluşan ısınnın beton içinde kalmasına çalışılır (Termos yöntemi) [1]. Bazı uygulamalarda yapı polietilen plastik örtülerle tamamen kaplanarak rüzgar ve soğuktan korunmaktadır. Ayrıca içeride ısıtma amaçlı önlemler alınabilir. Isıtma birimlerinde yanma ürünlerinin, özellikle karbondioksitin ısıtılan kapalı alandan dışarı atılması gerekir. Aksi halde erken yaştaki beton yüzünün dayanıklılığının zayıflamasına ve betonun bozulmasına yol açar. Oluşabilecek karbonmonoksitin çalışanlara zarar vermesi ayrı bir risktir. Bu nedenle en iyi yöntem buhar uygulamaktır.

Rusya'da çok yaygın olarak kullanılan bir yöntem de, beton içine yerleştirilen resistans tellerine elektrik akımı verilerek betonun içeriden ısıtılmasıdır [1]

Kullanılacak kalıpların dış yüzeyinin, polüeratan köpük vb. izolasyon malzemeleri ile kaplanması, kalıplara sıcak hava tutularak sıcaklıklarının yükseltilmesi, çelik yerine ahşap kalıp kullanılması diğer önlemlerdir.

1.3.4. Kimyasal Katkı Kullanılması

Diğer önlemlerle birlikte uygulanacak bir başka çözüm yolu antifriz katkıları kullanmaktır [1]. Bu katkıların 2 fonksiyonu vardır [9]:

- a. Betonun sıvı fazının donma noktasını düşürmek : Bu grupta sodyum nitrat (NaNO_2), NaCl , Zayıf elektrolitler (amonyum çözeltisi), Karbomayd (Carbomide) sayılabilir.
- b. Priz süresini ve dayanım artışını hızlandırmak : Bu grupta, potasyum karbonat (K_2CO_3), kalsiyum klorür (CaCl_2), sodyum nitrit (NaNO_2), kalsiyum nitrit $\text{Ca}(\text{NO}_2)_2$ ve bu tuzların birbiri ile karışımları; örneğin klorür karışımı ($\text{CaCl}_2 + \text{NaCl}$), nitrat -nitrit karışımı ($\text{Ca}(\text{NO}_2)_2 - \text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ veya nitrit – nitrat – üre ($\text{Ca}(\text{NO}_2)_2 - \text{Ca}(\text{NO}_3)_2 - \text{CO}(\text{NH}_2)_2$) vb gibi karışımlar kullanılır.

Bu katkılar içinde klorür içerenler, hidratasyon hızını artırarak betonun dayanım kazanmasını hızlandırırlar. Ancak beton içindeki CaCl_2 çelik donatının korozyonuna neden olabilir. Bu nedenle, korozyona yol açmayan katkılar kullanılmalıdır. Bu katkılar suyun donma noktasını düşürdükleri için oranlarını beton içindeki su miktarının %'si olarak belirlemek daha uygun olur. Bu katkıların oranı arttıkça, suyun donma sıcaklığını düşürme etkisi de artar.

Antifriz katkısının oranı (dozajı) ortam sıcaklığına, su veya agrega sıcaklıkları ve bunların sonucunda oluşan betonun sıcaklığına, betonun dışa açılan yüzeylerinin

toplamlarının beton hacmine oranına (yüzey modülü), yapım teknolojisine, çimento tipine bağı olarak seçilebilir [1]

Antifiriz katkılarla birlikte ayrıca karışım suyunu azaltan akışkanlaştırıcı veya süperakışkanlaştırıcı katkı maddesi ve hava sürükleyici katkı maddesinin kullanılması, üretimin yapılacağı çevre koşulları ve karışım gereklilikleri göz önünde bulundurularak değerlendirilmelidir.

1.3.5. Diğer Önlemler

Terleme suyu perdah esnasında betonun içine karıştırılırsa beton yüzeyindeki mukavemet daha düşük olacağından, yüzey daha sonraki donma çözülmelerle zarar görür ve tozlanmaya meyilli olur. Soğuk hava koşulları betondaki suyun buharlaşmasını ve priz süresini geciktireceğinden, terleme suyunu azaltmak ve priz süresini kısaltmak amacı ile düşük çökmeli betonlar kullanılması, yüzey perdahından evvel terleme suyunun buharlaşması için beklenmesi önerilmektedir. [12].

Mümkün olduğu kadar yüksek sınıflı (C30-C35 gibi) ve düşük su/çimento oranı olan betonlar tercih edilmelidir. Uçucu kül içeren betonları daha uzun süre dondan korumak gereklidir [13].

Kenar ve köşelerin iki ayrı yönden ısı kaybına uğramaları söz konusu olduğundan, don etkisine karşı kritik alanlar oldukları, bu nedenle ilave önlemler alınması önerilmektedir [13].

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

2.1. Malzemeler

2.1.1. Çimento

Tüm deneylerde, PÇ 42,5 sınıfında (CEM I, TS-EN 197-1) [14] normal Portland çimentosu kullanılmıştır. Çimentoların kimyasal ve fiziksel özellikleri Tablo 3’de gösterilmiştir.

Tablo 3. Çimentonun Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Kimyasal Bileşim (%)		Mineralojik Bileşim (%)	
SiO ₂	20,34	C ₃ S	57,49
Al ₂ O ₃	4,05	C ₂ S	16,44
Fe ₂ O ₃	4,18	C ₃ A	3,66
CaO	63,80	C ₄ AF	12,72
MgO	1,21	Fiziksel Özellikler	
SO ₃	2,36	Özgöl Yüzey (cm ² /g)	3364
Kızdırma Kaybı	1,96	Özgöl Ağırlık (g/cm ³)	3,08
Serbest CaO	0,93	Priz Başlama	2:29
		(sa: dak) Sona erme	4:09

2.1.2. Agregat

İnce malzeme olarak doğal ve kırma kum, ve iri agregat olarak en büyük tane boyutları 25 mm olan kalker esaslı kırmataş kullanılmıştır. Agregat karışımına, doğal kum, kırma kum ve No1 ve No2 kırmataşlar sırasıyla %33, %17, %25, ve %25 oranlarında katılmışlardır. Agregaların elek analizi (%geçen), su emme ve özgöl ağırlık bilgileri Tablo 4'de gösterilmiştir.

Tablo 4. Agregaların Fiziksel Özellikleri

Elek Açıklığı (mm)	Geçen (%)			
	Kum	K. Kum	KT1	KT2
31,5	100	100	100	100
25	100	100	100	100
20	100	100	100	98
14	100	100	100	40
10	100	100	88	3
5	99	100	10	0
2,36	89	76	1	0
1,18	76	41	1	0
0,600	55	20	0	0
0,300	17	8	0	0
0,150	2	3	0	0
Su Emme (%)	1,74	1,1	0,75	0,53
Özgöl Ağırlık (kg /dm ³)	2,57	2,67	2,69	2,69

2.1.3.Katkılar

Bu çalışmada süperakışkanlaştırıcı olarak 4, hızlandırıcı olarak ise 2 farklı kimyasal katkı kullanılmıştır. Kullanılan süperakışkanlaştırıcılar; 2 farklı lignin sülfonat oranında melamin sülfonat ve lignosülfonat karışımı, modifiye lignosülfonat, ve hızlandırıcı tuzlar içeren melamin sülfonat çözeltileridir. Hava sürüklemelerini azaltmak için köpük kesmeye yarayan kimyasallar her bir katkıya gerektiği oranda katılmıştır. Katkıların çözünabilir klorür içeriği açısından TS EN 934-2 [15]'ye uygun oldukları tespit edilmiştir. Katkıların kimyasal özellikleri Tablo 5'de gösterilmiştir. Katkıların pH deneyleri TS 6365 EN 1262 [16] atı madde oranları TS EN 480-8 [17], yoğunlukları TS 781- ISO 758 [18] ve suda çözünabilen klorür deneyleri TS EN 480-10 [19]'a göre yapılmıştır.

Tablo 5. Katkıların Kimyasal Özellikleri

Sembol	Kimyasal Yapı	pH	Katı Madde (%)	Yoğunluk (gr/cm ³)	Klorür Kalitatif(%)
S1	Melamin sülfonat lignosülfonat karışımı (düşük lignin sülfonat)	9	39	1,2150	<0,01
S2	Melamin sülfonat lignosülfonat karışımı (yüksek lignin sülfonat)	10	37	1,2	<0,01
S3	Modifiye Lignosülfonat	9	25	1,11	<0,01
S4	Melamin sülfonat +A2 bileşimi	9	38	1,21	<0,01
A1	Nitrat tuzu	8	33	1,25	<0,01
A2	Nitrat, nitrit ve diğer tuzlar karışımları	8,5	32	1,1650	<0,01

2.2. Beton Karışım Hesabı

Beton karışım hesabında esas olarak (15 cm çökme) sabit kıvamda beton üretimi amaçlanmıştır. Çimento dozajı 350 kg/m³ olarak sabittir. Kullanılan katkılar kimyasal yapıları itibarı ile farklı olduklarından, farklı oranlarda kullanılmışlardır. Değişken su miktarları ile aynı kıvamlar elde edilmeye çalışılmıştır. 1 m³ beton için gerekli karışım miktarları Tablo 6'da gösterilmiştir.

Tablo 6. Betona (1 m³) Giren Malzeme Miktarları

	No	Katkı	Kum	K.Kum	KT1	KT2	Katkı (%,C)	W/C	Çökme (cm)
			(kg/m ³)	(kg/m ³)	(kg/m ³)	(kg/m ³)			
Seri 1	95	K1	563	301	446	447	-	0,61	15
	77	S1+ A1	584	312	463	463	1+1	0,50	14,5
	23	S2+ A2	594	318	471	471	1+1,5	0,48	15,5
Seri 2	183	K2	568	304	451	451	-	0,58	15
	186	K3							
	133	S3	584	313	463	463	1	0,49	15
	116	S3+ A2	586	314	465	465	1+1	0,49	16
	122	S3+ A1	588	315	466	466	1+1	0,48	14
	141	S4	604	323	479	479	2	0,43	16

2.3. Kür Koşulları

Hazırlanan beton karışımları, plastik kalıplara alınmış ve üzerlerine cam yünü ve cam örtülerek derin dondurucuya konulmuşlardır. Beton karışımları üretilirken ortam sıcaklığının 16 °C, beton sıcaklığı 20 °C olarak ölçülmüştür.

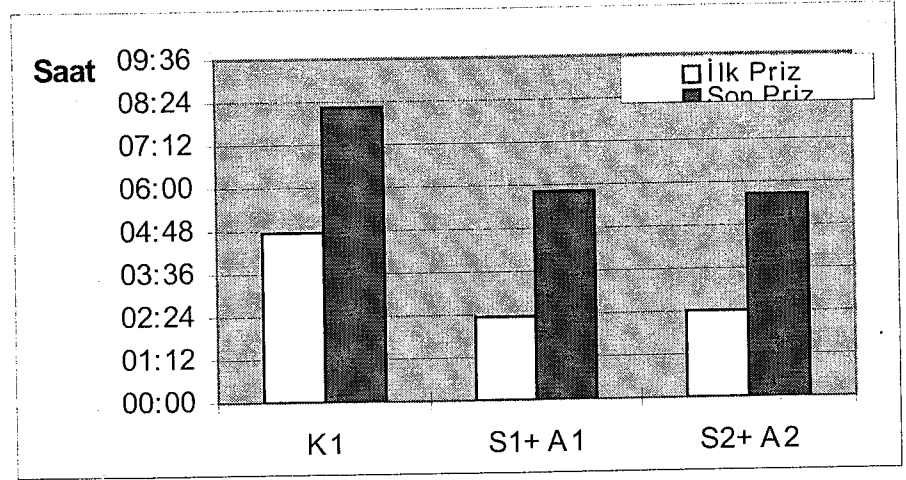
1. Seride üretilen tüm karışımlar (K1, S1+A1, S2+A2), 24 saat +5 °C de, daha sonra 21. günün sonuna kadar -10°C de saklanmışlardır. Numunelerin kalıpları 14. gün çıkartılmış, 21. gün dolaptan alınan numuneler 28 günlük olana kadar suda (20 ± 2°C) saklanmışlardır.
2. Seride üretilen karışımlar (K2, S3, S3+A1, S3+A2, S4) , ilk 12 saat +5 °C'de, takip eden 12 saat süresince -5°C de saklanmışlardır. 7 gün boyunca bu çevrim tekrarlanmıştır. 7. Gün dondurucudan çıkartılan numuneler, 28 günlük olana kadar, 21 gün olan suda (20±2°C) saklanmışlardır. 2. Seride kıyaslama olması açısından üretiminden itibaren standart kür koşullarında (24 saat, 20 ± 2°C havada, 27 gün 20 ± 2 °C suda) saklanan katkısız bir beton (K3) daha seriye dahil edilmiştir.

3. DENEY SONUÇLARI VE İRDELENMESİ

3.1. Çimento Hamuru Üzerinde Yapılan Priz Deneyleri

Çimento hamurunda yapılan priz deneylerinde numuneler hazırlanmalarını takiben +5°C'de saklanmış ve priz değerlerinin değişimi takip edilmiştir (Şekil 1). Buna

göre, S1+A1 ve S2+A2 katkıları ile üretilen çimento hamurlarının priz sürelerinin katkı içermeyen numuneye göre hem ilk hem de son priz değerleri açısından daha kısa olduğu, bir başka deyişle kullanılan kimyasal katkıların çimento hamurlarının priz sürelerini kısalttığı tespit edilmiştir.



Şekil 1. Priz Sürelerinin (Çimento Hamurunda, +5°C'de) Değişimi

3.2. Taze Beton Deneyleri

Üretilen betonların birim ağırlık değerleri TS EN 12350-6 [20]'ya uygun olarak yapılmıştır. Üretimi takiben taze beton üzerinde TS-EN 12350-2 [21]'ye göre, ani olarak çökme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Taze betonlarda ölçülen birim ağırlık değerleri 2323 – 2380 kg/m³ aralığında değişmiştir (Tablo 5). Beklendiği gibi tüm lignosülfonatlı karışımların (S3), birim ağırlık değerlerinden yola çıkarak katkısız betona (K1) göre bir miktar daha fazla hava sürükledikleri söylenebilir. Tablo 7'den katkı kullanılması durumunda su/çimento oranının 1.seride 0,61'den 0,48'e; 2 seride ise 0,58'den 0,43 değerine kadar inebildiği anlaşılmaktadır. Yapılan çalışmalarda su azaltma özelliği en yüksek katkının S4 olduğu tespit edilmiştir.

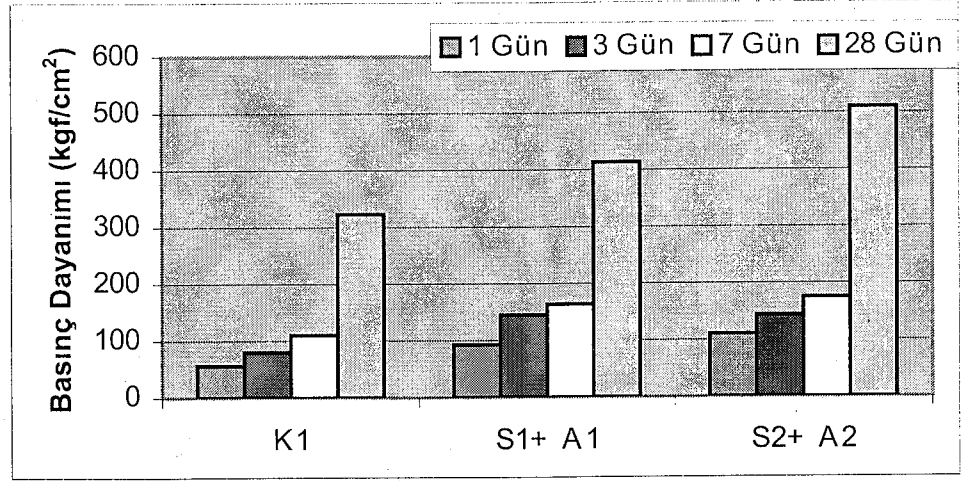
Tablo 7. Taze ve Sertleşmiş Beton Deney Sonuçları

	No	Katkı	Katkı (%,C)	W/C	B.Ağırlık (kg/m ³)	Çökme (cm)	Basınç Dayanımı (MPa)			
							1 Gün	3 Gün	7 Gün	28 Gün
Seri 1	95	K1	-	0,61	2353	15	56	80	110	323
	77	S1+ A1	1+1	0,50	2354	14,5	92	145	163	413
	23	S2+ A2	1+1,5	0,48	2351	15,5	111	143	175	509
Seri 2	183	K2		0,58	2359	15	26	93	184	437
	186	K3		0,58	2359	15	112	252	362	410
	133	S3	1	0,49	2355	15	26	199	270	511
	116	S3+ A2	1+1	0,49	2323	16	29	215	318	554
	122	S3+ A1	1+1	0,48	2345	14	32	181	286	532
	141	S4	2	0,43	2380	16	92	285	375	648

3.3. Sertleşmiş Beton Deneyleri

Üretilen betonlardan alınan 15 cm 'lik küp numuneler, 1, 3, 7, 28. günlerde eksenel basınç deneyine tabi tutulmuştur. Yapılan basınç dayanımı deney sonuçları Tablo 7 ve Şekil 2 ve 3'de verilmiştir.

24 Saat +5 °C de, daha sonra 21. günün sonuna kadar -10°C de saklanan karışımların yer aldığı 1.seride üretilen katkılı betonların dayanımları, katkısız (K1) oranla her yaşta artmıştır (Şekil 2). S2+A2 katkılı betonda katkısız betona (K1) göre tespit edilen dayanım artışı, 1 günlük sonuçlarda % 98'e, 28. günde ise % 58'e ulaşmıştır. S1+A1 katkıları kullanılarak üretilen betonların dayanımları, katkısız betona göre daha yüksek ancak S2+ A2 katkıları ile üretilen betona göre daha düşük kalmıştır. S2+A2 katkısı içeren betonun 1 günde daha yüksek dayanım vermesinin nedeni A2 hızlandırıcısına bağlanabilir.

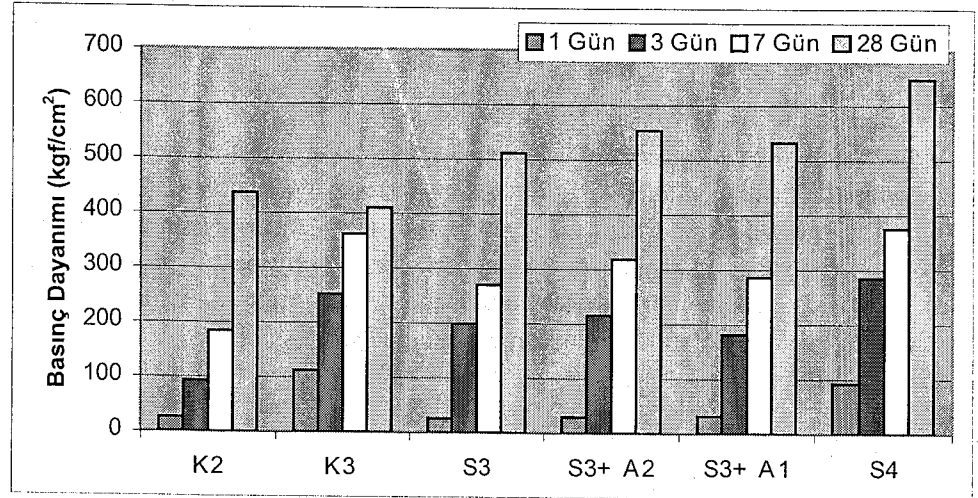


Şekil 2. 1.Seri (24 Saat +5 °C de, 21. gün -10°C de Saklanan) Betonlarının Basınç Dayanımları

İlk 12 saat +5 °C’de, takip eden 12 saat süresince -5°C de saklanan ve 7 gün boyunca bu çevrimin tekrarlandığı 2. seride üretilen kimyasal katkı içeren betonların dayanımları, katkısız (K2) oranla 3, 7 ve 28 günlerde artmıştır (Şekil 3). Bu artış, S4 katkılı betonda hem 1 günlük sonuçlarda % 353 hem de 28. günlük sonuçlarda % 148 olmak üzere oldukça belirgindir. Kıyaslama olması açısından üretiminden itibaren standart kür koşullarında (24 saat +20±2°C havada, 27 gün suda) saklanan katkısız betonun (K3) dayanımlarına göre, S4 katkısı ile üretilen betonun 1.günlük dayanımı daha düşük kalırken (%82), bu durum ilerleyen yaşlarda değişmiş, 3.günde %113, 7. günde %104, 28.günde ise % 158 olmak üzere standart kür koşullarında saklanan betonun dayanımlarının üzerinde dayanım değerleri elde edilmiştir. Bu durum, S4 katkısı içeren betonun ilk yaşlarda yeterli sertleşme hızlanmasına ve denenen karışımlar içinde en düşük su içeriğine sahip olmasına bağlanabilir.

S3 katkısı ile üretilen betonların dayanımları ise aynı koşullarda saklanan katkısız betona (K2) göre 1 gün itibarı ile oldukça yakın olmakla birlikte, ilerleyen yaşlarda aynı koşullarda saklanan katkısız betondan daha yüksek dayanım değerleri elde edilmiştir. Ancak S3 katkısı kullanılarak üretilen betonların dayanımlarının, S4 katkısı kullanılarak üretilen betonun dayanımlarına göre her yaşta daha düşük kaldığı tespit edilmiştir. S3 katkısı içeren beton karışımlarının dayanımlarının, 1 günün sonunda kritik dayanım değerinden daha düşük olması, dolayısı ile don

etkisine açık olmasının bu durumun nedeni olabileceği düşünülebilir. Buradan hareketle, Lignin esaslı katkıların, hızlandırıcılarla kullanılsa bile istenilen dayanım artışı sağlamadığı, bu durumda en doğru yaklaşımın melamin sülfonat esaslı bir katkı kullanmak olduğu söylenebilir.



Şekil 3. 2.Seri (7 gün boyunca 12 saat +5 °C, 12 saat -5°C de Saklanan) Betonların Basma Dayanımları

4. SONUÇLAR

1. Çimento hamurunda, +5°C'de yapılan priz deneylerinde, S1+A1 ve S2+A2 katkılarının priz sürelerini kısalttığı tespit edilmiştir.
2. İlk 24 saati 5 °C sıcaklıkta saklanan seride, 1 günde katkısız karışımın kritik dayanımı zor da olsa ($56 > 50 \text{ kgf/cm}^2$) sağladığı, kimyasal katkı kullanılan betonlarda ise bu dayanımın rahatlıkla aşıldığı ($92, 111 > 50 \text{ kgf/cm}^2$) görülmüştür.
3. Kış şartlarının gündüz ve gece koşulları esas alınarak (12 saat + 5 °C, 12 saat - 5 °C) saklanan seride ise, hızlandırıcı tuzlar içeren melamin sülfonat karışımının bir günde istenilen kritik dayanım değerini rahatlıkla sağladığı, diğer katkılı betonlarda ise bu dayanım değerine ulaşmak için en az 2 güne ihtiyaç duyulduğu görülmüştür. Lignin esaslı katkıların (S3), hızlandırıcılarla kullanılsa bile istenilen dayanım artışı

sağlamadığı, bu durumda melamin sülfonat esaslı bir katkı kullanmanın daha doğru olduğu söylenebilir.

4. Denenen kimyasal katkılardan hızlandırıcı tuzlar içeren melamin sülfonat çözeltisi (S4) ile, hem bir günde donma sınırı olarak kabul edilen 50 kgf/cm² üzerinde, hem de ileri yaşlarda standart koşullarda saklanan katkısız beton dayanımının üzerinde sonuçlar elde edilmiştir.
5. Don etkisinin gözlemesi amacı ile hazırlanan ve iki farklı saklama koşulu uygulanan K2 ve K3 betonlarından, soğuk hava çevrimi uygulanan K2 betonunun 1,3 ve 7 günlük dayanımları standart kür uygulanan K3'e göre daha düşük çıkarken, bu durum 28. günde, tersine olarak değişmiştir. Bunun nedeninin, soğuk havanın sertleşme hızını geciktirmesi sonucu düşük sıcaklıklarda çimentonun hidratasyonu sonucu oluşan hidrate kristallerin daha homojen ve yoğun olarak gerçekleşmesi olduğu düşünülebilir.

TEŞEKKÜR

Yazarlar, deneysel çalışmanın gerçekleşmesinde emeği geçen Sika Yapı Kimyasalları laboratuvar personeline ve yönlendirmelerinden dolayı Sn. Prof. Dr. M. Hulusi Özkul'a teşekkür ederler.

KAYNAKLAR

1. Özkul, M.H., *Sika Eğitim Seminer Notları I*, "Soğuk İklimlerde Beton Sorunları", 1998
2. Türk Standartları, *Beton Yapım Döküm ve Bakım Kuralları - Anormal Hava Koşullarında (TS 1248)*, Türk Standartları Enstitüsü, Nisan 1989.
3. American Concrete Institute, *Cold Weather Concreting. ACI 306R-88*, reapproved 1997, 23p.
4. Erdoğan, T.Y., *Beton*, Metu Press, Mayıs 2003.
5. Murdock, L.J. Brook, K.M and Devar J.O., *Concrete Materials and Practice*, Buttler&Tanler Ltd. 411-136, London, 1991.
6. Kayyali O.A., Page C.L. and Ritchie, A.G.B., "Frost Action on Immature Cement Paste Effects on Mechanical Behaviour", *ACF Journal* November, 1217-1225, 1979.
7. Fagerlund G., *Internal Frost Attack State of the Art. Frost resistance of Concrete*. Edited by M.J. Setzer and R. Auberg, E&F Spon, 321-338, 1997

8. Şahin, R. Normal Portland Çimentolu Betonların Don Direncinin Taguchi Yöntemi ile Optimizasyonu ve Hasar Analizi, Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, 2003.
9. Ramachandran, V.S., Concrete Admixtures Handbook, Noyes Publications 1984.
10. Mindess, S. and Young, J.F., Concrete, Prentice Hall, 1981
11. Baygeldi, M., "Kötü Hava Koşullarında Beton Yapımı, Dökümü ve Bakımı", Yapı Dünyası Dergisi, Ocak 2000, Sayı 46.
12. <http://deeconcrete.com/coldweatherconcrete.html>
13. <http://www.kuhlman-corp.com/Cold.html>
14. Türk Standartları, Çimento - Bölüm 1: Genel Çimentolar- Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri (TS EN 197-1), Türk Standartları Enstitüsü, Mart 2002
15. Türk Standartları, Kimyasal Katkılar-Beton, Harç ve Şerbet İçin Bölüm 2: Beton Katkıları-Tarifler, Özellikler, Uygunluk, İşaretleme ve Etiketleme (TS EN 934-2), Türk Standartları Enstitüsü, Mart 2002
16. Türk Standartları, Yüzey Aktif Maddeler-Yüzey Aktif Madde Çözeltileri veya Dispersiyonları pH Değerlerinin Tayini (TS 6365 EN 1262), TSE, Mart 1999.
17. Türk Standartları, Kimyasal Katkılar-Beton, Harç ve Şerbet İçin-Deney Metotları-Bölüm 8-Katı Madde Muhtevası Tayini (TS EN 480-8), TSE, Şubat 2001.
18. Türk Standartları, Sanayide Kullanılan Sıvı Kimyasal Ürünler-20°C'de Yoğunluk Tayini (TS 781 ISO 758), TSE, Nisan 1998.
19. Türk Standartları, Kimyasal Katkılar-Beton, Harç ve Şerbet İçin-Deney Metotları-Bölüm 10-Suda Çözünebilen Klorür Muhtevası Tayini (TS EN 480-10), TSE, Şubat 2001.
20. Türk Standartları, Taze Beton Deneyleri-Bölüm: Yoğunluk, (TS EN 12350-6), TSE, Nisan 2002.
21. Türk Standartları, Beton-Taze Beton Deneyleri-Bölüm: Çökme (Slump) Deneyi, (TS-EN 12350-2), TSE, Nisan 2002.

