

SOĞUK HAVA KOŞULLARINDA STANDART VE YERİNDEKİ BETON BASINÇ DAYANIMINA KALIP TİPİ VE ISI YALITIMININ ETKİSİ*

İsmail Akkoyun¹, Alperen Okur², Mehmet Yurdağül³
Serpil İşbilen⁴, Hilmi Aytaç⁵, Levent Sevin⁶

Özet

Bu çalışmada, laboratuvar ortamında 25x50x150 cm ebatlarında üretilen 6 adet kolon ve 15x200x200 cm ebatlarında üretilen 3 adet tabliyede, kalıp tipinin ve ısı yalıtım malzemesi kullanımının, soğuk hava koşullarında erken ve nihai basınç dayanımına etkisi incelenmiştir. Standart numuneler ve saha koşullarında bekletilen numunelerle, kolon ve tabliyelerden alınan karot numunelerinin dayanımları karşılaştırılmıştır. Sıcaklık gelişimleri veri kaydedici cihazlarla izlenmiştir.

Elde edilen bulgulara göre, kalıp tipi ve ısı izolasyon özellikleri değişiminin, 28 ve 90. günde yerindeki beton dayanımında, sektör pratiği dikkate alındığında kayda değer bir değişiklik yaratmadığı görülmüştür.

1. GİRİŞ

Soğuk havada beton dökümü esnasında alınması gereken tedbirleri içeren TS 1248 no.lu "Anormal Hava Şartlarında Beton Yapım, Döküm ve Bakım Kuralları" başlıklı standartta, soğuk hava koşullarında betonun don etkisine karşı korunması gerektiği açıkça ifade edilmiştir [1]. Betonun soğuk hava koşullarına göre tasarlanması tek başına yeterli olmayıp, kullanıcının şantiyede koruma önlemleri alması bu anlamda büyük önem taşımaktadır. Dolayısıyla beton, tahliye edildiği andan itibaren gerek battaniyelerle örtme, gerek ortamı kapatma/ısıtma ya da ısıtılmış/izole edilmiş kalıplara döküm

yapma vb. gibi önlemlerle korunmalı; sağlıklı bir beton dökümünün, beton üreticisinin yanında kullanıcıya da bağlı olduğu gözden kaçırılmamalıdır.

Diğer bir husus beton numunelerinin muhafazasıdır ki, söz konusu hava koşullarında ilgili koruma kriterlerine uyulmadığı takdirde numune dayanımlarında değişkenlikler ortaya çıkabilmektedir. Bilindiği gibi, numuneler alındıktan sonraki birinci günde şantiye ortamında bırakılmaktadır. Bu süre içerisinde, özellikle gece saatlerinde hava sıcaklığının çok düşük değerlerde seyretmesi, henüz yeterli dayanıma ulaşmamış beton numunelerinin saklanması hususunda daha dikkatli olmayı gerektirmektedir. Teslim yerinde hazırlanmış olan beton numunelerinin, uygun nem ve sıcaklık koşullarında bekletilebilmeleri için şantiyede gerekli önlemler alınmış olmalıdır [2].

Ülkemizde büyük projelerin haricinde, soğuk hava koşullarında betonun korunması ile ilgili yeterli bilinç mevcut değildir. İşin bir miktar gecikmesine katlanmanın ötesinde şantiyede herhangi bir rahatsızlık ortaya çıkmamaktadır. Priz gecikmeleri olağan karşılanabildiği için kalıp alma süreleri bir miktar uzatılmakta, ancak beton dayanımının olumsuz etkilenebileceği gibi bir endişe ne yazık ki duyulmamaktadır. Bunun neticesinde, çoğu şantiyede normal hava koşullarındaki iş alışkanlıkları devam ettirilerek, dikey kalıplar ertesi gün sökülerek işe devam edilmektedir. Dökümün sonrasındaki gün kalıpların sökülmesi, betonun henüz

Effect of Form Type and Heat Insulation on Standard and In-Situ Compressive Strength Under Cold Weather Conditions

Effect of form type and heat insulation on the compressive strength of in-situ concrete were investigated under cold weather conditions. 6 columns (25x50x150 cm) and 3 slabs (15x200x200 cm) were produced in laboratory. Compressive strength of conventional samples kept in current weather and standard curing conditions were compared with those of core samples. Heat development in columns and slabs were also recorded.

It was concluded that, form type and heat isolation conditions have almost no effect on compressive strength of in-situ concrete.

1) i.akkoyun@bursabeton.com.tr 2) a.okur@bursabeton.com.tr 3) m.yurdagul@bursabeton.com.tr 4) s.ulu@bursabeton.com.tr 5) a.hilmiaytac@bursabeton.com.tr

6) hl.sevin@bursabeton.com.tr, Bursa Beton AŞ, Bursa

(*) Türkiye Hazır Beton Birliği tarafından düzenlenen Beton İstanbul 2017 Hazır Beton Kongresi'nde sunulmuştur.

çok erken yaşlarda doğrudan soğuk havaya maruz kalmasına yol açmaktadır.

Bu çalışmada, şantiyede soğuk havaya maruz kalmış olan yapı elemanlarının yerindeki dayanımıyla, taze betondan alınan standart numune dayanımları arasındaki ilişki araştırılmış; ayrıca soğuk havada alınabilecek bir takım ısı izolasyon önlemlerinin ne derece etkili olduğu sorusunun cevabı aranmıştır. Deneysel çalışmalar “yapının/yapı elemanının korunması” ve “numune-

nin korunması” konularından hareket edilerek yapılmıştır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

2.1. Malzemeler

2.1.1. Çimento

Bursa Çimento Fabrikası AŞ’den temin edilen CEM I 42,5 R tipi çimentoya ait kimyasal ve fiziksel özellikler Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Çimentonun kimyasal ve fiziksel özellikleri

SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO ₃ (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)	Kızd. Kaybı (%)	S. CaO (%)	Öz. Ağ.	Blaine (cm ² /g)	Priz Başl. (saat)	Priz Sonu (saat)	Basınç Dayanımı (MPa)		
														2 Gün	7 Gün	28 Gün
18,06	5,55	3,15	62,68	0,92	2,53	0,48	0,60	3,54	0,95	3,14	3.558	02:33	03:32	28,3	48,7	59,3

2.1.2. Uçucu kül

İçdaş termik santralinden elde edilen uçucu küle ait kimyasal ve fiziksel özellikler Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Uçucu külün kimyasal ve fiziksel özellikleri

SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃ (%)	MgO (%)	SO ₃ (%)	Toplam Alkali (%)	Kızd. Kaybı (%)	S. CaO (%)	Özgül Ağırlık	Reaktif SiO ₂ (%)	Reaktif CaO (%)	45µ Elek Bakiyesi (%)	28 Günlük Puzolanik Aktivite (%)
85,57	1,47	0,3	1,48	1,78	0,1	2,24	52,89	5,98	15,06	80,8

2.1.3. Agregası

Çalışmada kırma kireç taşı agregası kullanılmıştır. En büyük dane boyutu 22 mm’dir.

Tablo 3’te agregalara ait özellikler verilmiştir.

Tablo 3. Agregalara ait özellikler

Özellik	Kırma Kum (0/5 mm)	İri Agregası (5/12 mm)	İri Agregası (12/22 mm)
Özgül ağırlık	2,65	2,68	2,69
Su Emme (%)	1,9	0,8	0,5
İncelik Modülü	3,53	-	-
Elek Boyutu (mm)	Elekten Geçen (%)		
31,5	100	100	100
22,4	100	100	100
16	100	100	59
11,2	100	99	6
8	100	61	-
5,6	100	22	-
4	98	4	-
2	63	-	-

Elek Boyutu (mm)	Elekten Geçen (%)		
1	38	-	-
0,5	24	-	-
0,25	14	-	-
0,125	10	-	-
0,063	2	-	-

2.1.4. Kimyasal Katkı

Geleneksel beton karışımlarında TS EN 934-2 Standardı’na uygun polikarboksilik eter ve lignosülfonat birleşiminden oluşan süperakışkanlaştırıcı katkı kullanılmıştır.

2.2. Deney Yöntemi

Laboratuvar ortamında 25x50x150 cm ebatlarında 6 adet kolon ve 15x200x200 cm ebatlarında 3 adet tabliye, farklı tip

kalıplarla, farklı ısı izolasyon/kür koşullarında hazırlanmıştır. Çelik, XPS, ahşap ve cam yünü için kabul edilen yaklaşık ısı iletkenlik katsayıları sırasıyla 43 W/m.K, 0,03 W/m.K, 0,20 W/m.K ve 0,04 W/m.K'dir. C30, C30UK ve C40UK kodlu 3 farklı karışım hazır beton santralinde üretilerek hazırlanan kalıplara dökülmüştür. Karışım kodlarındaki UK ifadesi, ilgili tasarımda uçucu kül kullanıldığını göstermektedir. Üretilen betonların karışım oranları Tablo 4'te verilmiştir. Su/bağlayıcı (s/b) oranının hesabında uçucu kül için k katsayısı 0,4 olarak alınmıştır. Tüm beton karışımlarında çökme değeri 20 ± 1 cm olarak sabit tutulmuştur. Vibrasyon süreleri sabit tutulmaya çalışılmış, yetersiz ya da aşırı vibrasyondan kaçınılmıştır. Kolon kalıpları söküldükten sonra herhangi bir kür uygulanmamış, ortam şartlarında bırakılmıştır. Tabliye izolasyonları kaldırıldıktan sonra 28. güne kadar sadece streç film uygulaması yapılmıştır. Kolon ve tabliyeler içerisinde herhangi bir donatı yoktur. Her 3 karışıma ait her yaş ve her kür şartı için alınan üçer adet 150 mm ayrıtlı küp numuneye tek eksenli basınç deneyi uygulanmış ve sonuçlar bu numunelerin ortalaması olarak ifade edilmiştir. Taze betondan alınan numuneler farklı koşullarda küre tabi tutulmuştur:

- İlk 24 saat 20 ± 2 °C, 27 gün boyunca standart su kürü
- İlk 24 saat dış ortam, 27 gün boyunca standart su kürü
- 28 gün boyunca dış ortam

Taze betondan alınan numunelerin yanında, yerindeki basınç dayanımının değerlendirilebilmesi için kolonlardan 28 (6 ad.) ve 90 (6 ad.) günlük; tabliyelerden ise sadece 28 (6 ad.) günlük olmak üzere 75 mm çap ve 75 mm boyunda karot alınmış, karot uçları aşındırma yöntemiyle düzeltilmiştir. Karot boyutları 100 mm'den küçük olmakla birlikte herhangi bir dönüşüm katsayısı kullanılmamış ve narinlik değerleri "1.00" olduğundan doğrudan doğruya küp dayanımı olarak değerlendirilmiştir. Karot sonuçları 6 adet karotun ortalamasıdır. Hava ve kür havuzu sıcaklığı 28 gün boyunca veri kaydedici cihazla izlenmiştir. Ayrıca sıcaklık gelişimlerinin bilinmesinin yerindeki dayanımın değerlendirilmesi açısından kritik olacağı düşünülerek kolon ve tabliyelerin her birinin kütle merkezine ısılıft kablosu konulmuş ve veri kaydedici cihaz ile 28 gün boyunca sıcaklık gelişimleri izlenmiştir. Resim 1'de kolon ve tabliye uygulamaları görülmektedir.

Tablo 4. Karışım oranları (kg/m³)

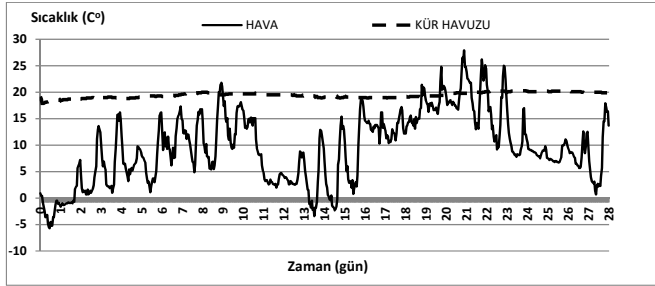
Karışım Kodu	Çimento	Uçucu Kül	Süper Akışkanl.	Su	s/b	0/5	5/12	12/22
C30UK	240	80	3,84	139	0,51	1.080	294	570
C30	305	0	3,66	152	0,50	1.108	277	575
C40UK	305	75	4,56	141	0,42	1.012	324	554



Resim 1. Kolon ve tabliye uygulamaları

3. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Alınan tüm numunelerin ve yapı elemanlarının maruz kaldığı sıcaklıklar Şekil 1'de verilmiştir. Soğuk hava koşullarında beton dayanımının çok düşük olduğu ilk saatlerde maruz kaldığı sıcaklık oldukça kritiktir. Şekil 1'de görüleceği üzere beton dökümünden sonraki ilk 40 saat boyunca hava sıcaklığı 0 °C'nin altında seyretmiştir. Kalıpların söküldüğü anda ise (48 saat) hava sıcaklığı en fazla 7 °C olarak ölçülmüştür. Daha sonraki zamanlarda (özellikle ilk 15 gün) gece sıcaklıkları oldukça düşüktür.



Şekil 1. Ortam sıcaklıkları

Tablo 5'te döküm esnasındaki sıcaklıklar ve standart numunelere ait basınç dayanımları görülmektedir. 28 günlük

Tablo 5. Standart numune basınç dayanımları

Karışım Kodu	Hava Sıc. (°C)	Taze Beton Sıc. (°C)	Kür Şekli	Basınç Dayanımı (MPa)			
				24 saat	3 gün	7 gün	28 gün
C30UK	2	9	24 saat 20 °C 27 gün su kürü	7,9	26,4	35,5	41,3
			24 saat dış ortam 27 gün su kürü	0,4	18,1	29,7	36,9
			28 gün dış ortam	0,4	10	23,0	30,8
C30	2	9	24 saat 20 °C 27 gün su kürü	9,5	31,1	42,5	46,4
			24 saat dış ortam 27 gün su kürü	0,7	20,8	38,5	40,3
			28 gün dış ortam	0,7	10,8	26,3	35,6
C40UK	2	10	24 saat 20 °C 27 gün su kürü	13,9	37,3	46,5	55,4
			24 saat dış ortam 27 gün su kürü	0,9	32,6	45,4	52,3
			28 gün dış ortam	0,9	16,6	37,1	46,4

Taze betondan alınan numuneler için ilk 24 saatteki sıcaklık şartları çok önemlidir. Numuneler şantiyelerde genellikle 1 gün civarı beklemektedir. Bu süre boyunca hava sıcaklığının düşük değerlerde olması önemli dayanım kayıplarına yol açmaktadır. Bu çalışmada 24 saat boyunca -5 °C mertebesindeki sıcaklıkta bekleyen numunelerle standart sıcaklıkta bekleyen numunelerin 28 günlük dayanım değerlerinde %13'e varan dayanım kayıpları oluşmuştur. Ayrıca ilk 24 saatte elde edilen beton dayanımları da çok düşük mertebelerdedir. Özellikle düşük sınıflı ya da mineral katkılı betonların kullanılması ve şantiyede 12 - 18 saat gibi daha kısa süreli bekleme durumlarında, numunelerin sarsıntı-titreşim gibi etkilere karşı daha da hassas olacağı açıktır. Bu şekilde yeterince dayanım kazanmamış beton numunelerinin herhangi bir sarsıntıya maruz kalması durumunda (örneğin şantiyeden laboratuvara transfer süreci), yeni

dayanımlara bakıldığında her 3 karışım için, standart şartlar ve tamamen dış ortamda kalan numune dayanımlarında beklediği gibi önemli bir fark olduğu görülmektedir. 28 gün boyunca dış ortamda bekleyen numune dayanımlarında %16-%25 arasında kayıp oluşmuştur. İlk 24 saat dış ortamda bekleyip sonrasında su kürü görmüş olan numunelerde ise (sektördeki genel durum) kayıp oranları %6 - %13 mertebesinde gerçekleşmiştir. 24 saatlik dayanımlara bakıldığında ise dış ortamda kalan numuneler, hava sıcaklığı 0 °C'nin altında olduğu için beton sınıfından bağımsız olarak oldukça düşük dayanım (0.4 ~ 0.9 MPa) sergilemiştir. 20 °C'de bekleyen numunelerin 24 saatlik dayanımları ise olağan şekilde gerçekleşmiştir.

oluşmaya başlayan iç yapının bozulması söz konusu olacak; bu durumda 28 günlük dayanım kayıplarının belki de %20-25 mertebelerine çıkması riski doğacaktır. Laboratuvar firmalarıyla beton üreticisi arasında hâlihazırda yaşanan dayanım tutarsızlıklarına soğuk hava kaynaklı böyle bir etkinin de ilave olması, problemi içinden çıkılmaz bir hâle sokabilecektir. Dolayısıyla soğuk hava koşullarında şantiyedeki numunelerin, dökümün hemen sonrasında 20±5°C sıcaklıkta muhafaza edilebilmesi için gerekli önlemler laboratuvar, yapı denetim firması ve şantiyenin koordinesinde mutlaka alınmalıdır. C40 sınıfı bir betonda bu risk daha düşük gibi görünmekle birlikte problem ihtimali yine vardır. Ayrıca ülkemizde genellikle taşıyıcı beton olarak C25 ve C30 sınıfı betonlar döküldüğü için bu önlemlerin kesinlikle alınması gereklidir. Tablo 6'da yapı elemanlarından alınan karotların basınç dayanımları görülmektedir.

Tablo 6. İzolasyon koşulları ve karot dayanımları

Yapı Elemanı	Karışım Kodu	Kalıp / İzolasyon Şekli	Kalıp Alma / İzolasyon Süresi	Dayanım (MPa)	
				28 g.	90 g.
Kolon 1 (K1)	C30UK	Plywood	48 saat	36,3	60,5
Kolon 2 (K2)	C30UK	Plywood	7 gün	42,4	59,5
Kolon 3 (K3)	C30UK	XPS (30 mm) + Plywood	48 saat	38,7	59,8
Kolon 4 (K4)	C30UK	Çelik	48 saat	34,5	55,4
Kolon 5 (K5)	C30	Plywood	48 saat	44,1	59,6
Kolon 6 (K6)	C40UK	Plywood	48 saat	49,8	63,8
Tabliye 1 (T1)	C30UK	Dökümden sonra streç Şlm	48 saat	41,3	-
Tabliye 2 (T2)	C30UK	Dökümden sonra streç Şlm; 16 saat sonra cam yünü	48 saat	44,0	-
Tabliye 3 (T3)	C30UK	Dökümden sonra streç Şlm + cam yünü	48 saat	43,6	-

Her bir karışım kodunda 28 gün dış ortamda kalan numunelerin dayanımları, yerindeki 28 günlük dayanımlardan daha düşük çıkmıştır. Bu durum numunelerin çok küçük hacimde olması sebebiyle soğuk havadan doğrudan doğruya etkilenmelerine ancak yapı elemanlarında ise ilk 48 saatteki izolasyon koşulları nedeniyle kütle içinde oluşan göreceli yüksek sıcaklığa bağlanabilir. Bu süreçte standart numuneler -5 ~ -1 °C iken yapı elemanlarındaki sıcaklıklar ortalama + 5 °C mertebesinde. Buradan hareketle genel manada standart numunenin korunmasındaki bir hatadan kaynaklanan dayanım düşüşünün, nihai hedef olan yapının güvenliğine odaklanıldığında, tamamıyla doğru bir değerlendirme unsuru sayılmayacağı söylenebilir. Numune dayanımı yerindeki dayanımı doğrudan doğruya yansıtmadığı için dayanım düşüklüğü her koşulda endişe yaratmamalı, yerindeki betonun dayanımı, maruz kalınan sıcaklık geçmişi de dikkate alınarak sorgulanmalıdır.

90. gündeki yerindeki dayanım 28. gündeki yerindeki dayanımdan bir hayli yüksek elde edilmiştir. Bu denli bir dayanım ilerleyişinin nedenleri ayrıca araştırılmalıdır. Uçucu kül kullanılmayan betonlar başta olmak üzere, uçucu kül / çimento oranı 0,25-0,35 aralığında olan standart numune dayanımlarında 28 günden 90 güne böyle bir dayanım ilerleyişi pek

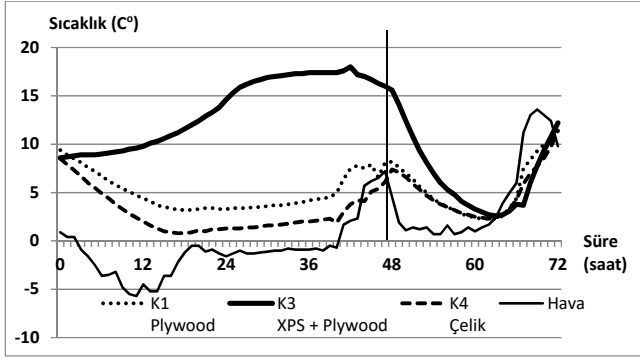
olağan değildir. Ancak şu var ki, yerindeki dayanımlarda 28. güne kadar yavaş gelişen hidrasyonun, 90. güne kadar bu gecikmeyi telafi ettiği ve potansiyel dayanımı ortaya çıkardığı düşünülebilir.

Karot dayanımları standart numune dayanımlarından genel olarak çok az miktarda düşük çıkmıştır. Burada etkili olan faktörlerin laboratuvar ortamında son derece kontrollü bir üretim yapılmasına (yetersiz ya da aşırı vibrasyon yapılmaması, kolon boylarının kısa olması ve ayrıca donatı olmadığından ayrışmaya neden olabilecek operasyon risklerinin olmayışı, sürekli personel gözetimi gibi) bağlanabilir. Şantiye uygulamalarında bu derece bir kontrol yapılamayacağı için karot sonuçları ile standart numune sonuçları arasındaki fark daha büyük olabilir.

Şekil 2-6'da kalıp/izolasyon şekli, izolasyon süresi ve karışım koduna bağlı olarak yapı elemanlarında ortaya çıkan sıcaklıkların zamanla değişimi görülmektedir. Şekil 2, 4, 5 ve 6'da 48 saatten sonra kalıplar söküldüğü / izolasyonlar kaldırıldığı ve çalışma kapsamındaki kolon ve tabliyeler de büyük kütleli elemanlar olmadığı için, yaklaşık 3. günden itibaren beton sıcaklıkları ile hava sıcaklıkları hemen hemen aynı değerleri almış, dolayısıyla 3-28. gün arası beton

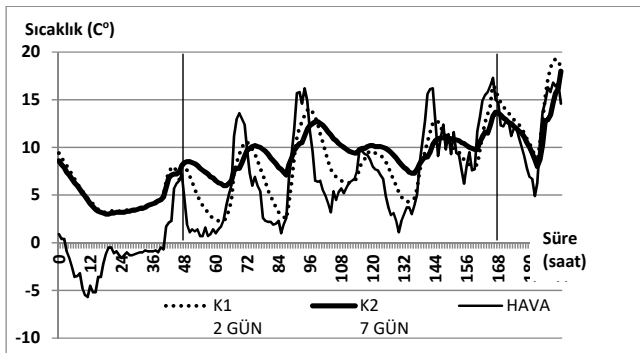
sıcaklıklarına bu grafiklerde yer verilmemiştir. 3. günden sonraki beton sıcaklıkları ile ilgili fikir edinebilmek için Şekil 1'e bakılabilir. Şekil 3'te ise aynı süreç 7 günden sonra gerçekleşmiştir.

Şekil 2'de kalıp tipine bağlı olarak yapı elemanlarında meydana gelen sıcaklık değişimleri görülmektedir. Çelik kalıpla plywood kalıp arasında kayda değer bir fark oluşmamış, XPS ile yalıtılmış beton ise hava sıcaklığı düşük olmasına rağmen hidratasyon ısısını muhafaza etmiştir. Karot dayanımlarına bakıldığında ise 28. günde K4 betonunun en düşük, K3 betonunun ise en yüksek dayanım verdiği görülmektedir. 90. günde ise K4 en düşük dayanımı vermiş, K1 ve K3 benzer sonuçlar vermiştir.



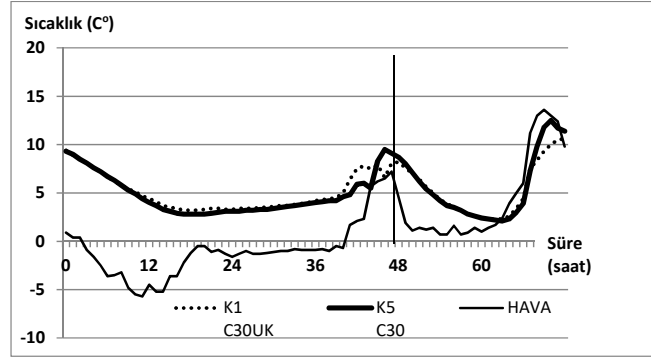
Şekil 2. Kalıp tipinin sıcaklık gelişimine etkisi

Şekil 3'te kalıp alma süresinin sıcaklık değişimlerine etkisi görülmektedir. K1 ve K2 kolonu 7 gün boyunca maks. gündüz sıcaklıklarında hemen hemen eş değerler almıştır. Ancak gece min. sıcaklıklarda, K2 kolonunun kalıpları alınmadığından ısı düşüşleri daha az gerçekleşmiştir. Karot dayanımlarına bakıldığında ise 28. günde K2 betonunun K1 betonuna göre daha yüksek dayanım verdiği (yaklaşık %15) ancak 90. günde bu dayanımların benzer hâle geldiği görülmüştür.



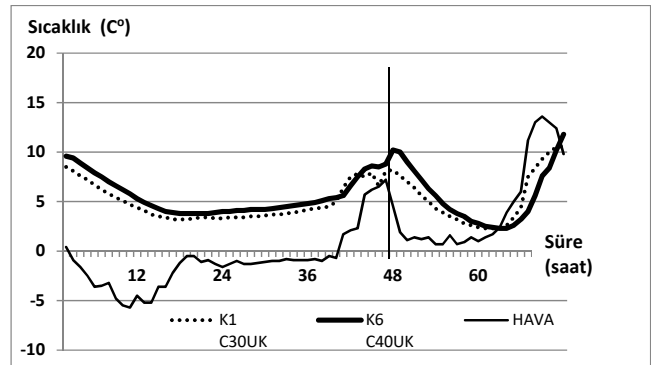
Şekil 3. Kalıp alma süresinin sıcaklık gelişimine etkisi

Şekil 4'te uçucu kül kullanımının sıcaklık değişimlerine etkisi görülmektedir. K1 ve K5 kolonlarında kalıp almadan önce ve kalıp alındıktan sonra hemen hemen eşit sıcaklıklar ölçülmüştür. Karot dayanımlarına bakıldığında ise 28. günde K5 betonunun K1 betonuna göre daha yüksek dayanım verdiği ancak 90. günde bu dayanımların benzer hâle geldiği görülmüştür. 28. günde dayanım farkının tasarımıyla da ilişkili olduğunu söylemek mümkündür.



Şekil 4. Uçucu kül kullanımının sıcaklık gelişimine etkisi

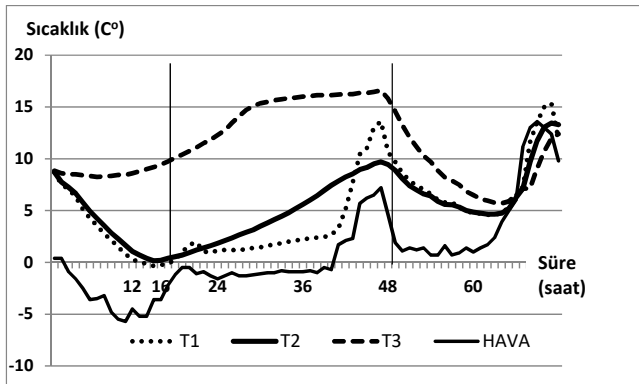
Şekil 5'te beton sınıfının sıcaklık değişimlerine etkisi görülmektedir. Beton sınıfının artmış olmasının sıcaklıklarda çok az da olsa bir artışa neden olduğu görülmekle birlikte bu farklılık kayda değer değildir. Diğer bir deyişle K1 ve K6 kolonlarında kalıp almadan önce ve kalıp alındıktan sonra hemen hemen eşit sıcaklıklar ölçülmüştür. Karot dayanımlarına bakıldığında ise 28. günde beton sınıfından kaynaklanan fark net bir şekilde görünürken, 90. günde bu farkın oldukça azaldığı görülmektedir.



Şekil 5. Beton sınıfının sıcaklık gelişimine etkisi

Şekil 6'da tabliyelerdeki ısı izolasyon özelliklerinin sıcaklık değişimlerine etkisi görülmektedir. T1 betonunda sadece streç film olduğu için hava sıcaklıklarına yakın değerler elde edilirken, T3 betonunda cam yününün etkisiyle, hava sıcaklığı

0 °C'nin altında olmasına rağmen hidrasyon ısısının artışı devam etmiştir. T1 ve T3 betonunda oluşan sıcaklıklarda 15 °C'ye yakın farklar oluşmuştur. T2 betonuna 16. saatte yalıtım yapıldığı için bu saatten sonra ısı artışı görülmeye başlanmıştır. Karot dayanımlarına bakıldığında ise 28. günde T1 betonunun bir miktar düşük dayanım verdiği, T2 ve T3 betonlarının ise hemen hemen aynı dayanımı verdiği görülmüştür.



Şekil 6. Isı izolasyon özelliklerinin tabliyelerde sıcaklık gelişimine etkisi

Yerindeki kolon ve tablie betonu dayanımlarına bakıldığında aynı süre kalıpta (ya da izolasyonda) kalmış olması şartıyla ısı izolasyon özelliği iyileştikçe dayanımın arttığı görülmüştür. Ancak kalıp tipi ya da ısı izolasyon özelliklerinin farklı olması (kolonlar için çelik, plywood, xps+plywood; tabliyeler için streç film, streç film+cam yünü'nün ısı izolasyon özellikleri farklıdır) ile ortaya çıkan bu değişkenliklerin, sektör pratiğinde 28 günlük dayanımlarda dikkate değer bir değişiklik yarattığını söylemek çok doğru değildir. 90 günlük dayanımlara bakıldığında da aynı şeyleri söylemek mümkündür. Diğer taraftan çelik kalıbın diğer kalıplara yakın performans sergilemesi de düşündürücüdür.

Isı yalıtım özelliği nisbeten iyi sayılabilecek plywood kalıpla üretim yapıldığında kalıp alma süresinin 7 güne kadar uzatılması durumunda 28 günlük mukavemetlerde önemli sayılabilecek artış (~ %15) meydana gelmektedir. Yapı denetim sürecinde olası bir karot alınması söz konusu olursa bu etki mutlaka dikkate alınmalıdır. Yerindeki dayanımın karakteristik dayanımdan daha düşük olması ile ilgili kabuller baştan yapılmakla birlikte, bu kabulün gerekçeleri içerisinde temel

olarak betonun su kaybının önlenmesi ve imalat hataları (sıkıştırma yetersizlikleri gibi) akla gelmektedir. Oysa karot sürecinde soğuk havadan kaynaklanabilecek hidrasyon gecikmeleri için de ilave yaklaşımlar mutlaka ortaya konulmalıdır.

Kalıp alma süresinin 2 günden 7 güne kadar uzatılmış olmasının 90 günde yerindeki dayanıma bir katkısı görülemez. Dolayısıyla her ne kadar beton kalite kontrolü 28. gün yapılsa da, yapının kendisi dikkate alındığında uzun vadede kalıp alma süresinin kısa olmasından kaynaklanan handicap ortadan kalkmaktadır. Bu anlamda kalıp alma süresinin 7. güne uzatılması bir zorunluluk değil bir tavsiye olarak düşünülebilir. Diğer taraftan kalıp alma süresinin çok düşük sıcaklıklarda 1 gün olarak belirlenmesi durumunda yukarıda varılan yargıların değişebileceği unutulmamalıdır. Soğuk havalarda kritik olan ilk 24 saatte betonun maruz kalacağı sıcaklık değerinin düşük olması durumunda kısa ya da uzun vadede yerindeki dayanımın olumsuzluk yaratacağı ihtimali gözden kaçırılmamalıdır. Dolayısıyla, kalıp alma süresi 2 günden az olmamalıdır denilebilir.

Soğuk hava şartlarında uçucu kül kullanılması, yerindeki betonda 28. günde olumsuz bir etki göstermekle birlikte 90. günde bu handicap ortadan kalkmıştır. Dolayısıyla yapı denetim süreci ya da herhangi bir gerekçeyle 28. günde yerindeki dayanımın kontrol edilmesi söz konusu değilse ve asıl olan uzun yıllar boyunca servis verecek olan yapının güvenliği ise, soğuk havalarda uçucu kül kullanılmaması bir zorunluluktan daha çok tavsiye olarak düşünülmelidir. Aynı şeyler soğuk hava çekincesiyle bir ya da iki üst sınıf beton tercih etme noktasında da geçerlidir.

Kalıp alma süreleri ile kalıp/izolasyon tipine bağlı olarak ortaya çıkan sonuçların ve bunlara istinaden yukarıda yapılan önerilerin Şekil 1'de verilen hava sıcaklıkları için geçerli olduğu, dolayısıyla bu sıcaklık rejiminin dışında bir süreç gerçekleşmesi durumunda ortaya çıkacak sonuçların ve yapılan önerilerin de değişebileceği unutulmamalıdır.

3. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada gerek taze betondan alınan standart numunelerde, gerekse yapı elemanında, soğuk havadan kaynaklı olarak ortaya çıkabilecek problemler, ortam sıcaklıkları, kür süreci ve ısı izolasyon koşulları anlamında incelenmiş ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

Soğuk hava koşullarında şantiyedeki numunelerin, dökümün hemen sonrasında $20\pm5^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta muhafaza edilebilmesi için gerekli önlemler laboratuvar, yapı denetim firması ve şantiyenin koordinesinde mutlaka alınmalıdır.

Numunenin, standarda uygun korunmamasından kaynaklanan dayanım düşüşünün, nihai hedef olan yapının güvenliğine odaklanıldığında, tamamıyla doğru bir değerlendirme unsuru sayılmayacağı söylenebilir. Numune dayanımı, numune boyutunun küçüklüğünden kaynaklı olarak soğuk havadan daha fazla etkilendiği için yerindeki dayanımı doğrudan doğruya yansıtmamaktadır. Dolayısıyla numunedeki dayanım düşüklüğü her koşulda endişe yaratmamalı, yerindeki betonun dayanımı, maruz kalınan sıcaklık geçmişi de dikkate alınarak sorgulanmalıdır.

Kalıp/izolasyon özelliklerinin iyileştirilmesi gibi sektörümüzün hiç alışık olmadığı ve dolayısıyla ilave maliyet/zaman gerektiren bir uygulamanın karşılığında alınan performans, bu işlemlerden beklenenleri karşılayacak düzeyde gerçekleşmemektedir.

Kolon kalıplarının 2 günlük bekleme süresi sonunda sökülmesi tavsiye edilmektedir.

Uzun vadede yerindeki dayanımın arttığı dikkate alındığında, soğuk hava şartlarında üst sınıf beton dökme ya da uçucu kül kullanmama durumları bir zorunluluktan daha çok tavsiye olarak değerlendirilebilir. Diğer taraftan yüksek oranda mineral katkı kullanılması durumunda, soğuk hava koşullarında yerindeki dayanımın düşük bulunması her koşulda yapının güvenliğinin risk altında olduğu sonucunu doğurmamalıdır. Uçucu kül kullanılan ya da kullanılmayan betonlardan alınan karotlarda, soğuk havadan kaynaklanabilecek hidratasyon gecikmeleri veya dayanımı etkileyen diğer parametreler için, TS EN 13791'in uygulanmasına yönelik tamamlayıcı standartta (TS 13685-Şubat 2016) belirtilen düzeltme faktörlerinin uygulanması süreçleri yapı denetim sistemine adapte edilmelidir.

Kaynaklar

1. TS 1248, "Beton Yapım, Döküm ve Bakım Kuralları-Anormal Hava Şartlarında", 2012.
2. Erdoğan, T., *Beton*, ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık, Ankara, 2003.