

Investigation of High Temperature Effects on Concrete Additive Antifreeze

Ilknur Bekem Kara^{1,*}, Metin Arslan²

Artvin Coruh University, Borcka Acarlar Vocational School, Department of Construction, 08400 Artvin, Turkey
Ankara University Faculty of Applied Sciences, Department of Real Estate Development and Management, 06590 Ankara, Turkey

•Received Date: 06 Jun 2017

•Revised Date: 23 Oct 2017

•Accepted Date: 03 Nov 2017

•Published Online: 07 Nov 2017

Abstract

The purpose of this work is to determine the effect of the antifreeze additive on the behavior of the concrete under high temperature. For this purpose, two different types of C20 class concrete were produced with reference and antifreeze additive. Fresh concrete was poured into plate molds, after 14 days standard curing, core samples of Ø5x10 cm dimensions were taken from plaque concrete. On day 90, the core samples were exposed to temperatures of 20, 200, 400, 550 and 700 °C for 3 hours and they cooled by air and water spray. Experiments on water absorption, ultrasound transit speed and compressive strength were carried out on the core samples. Microstructures were analyzed by X-ray diffraction method in concrete specimens applied at temperatures of 20 and 700 °C. As a result, it has been determined that the concrete with antifreeze strain that is least affected by the temperature of 700 °C is cooled water.

Keywords

Concrete, Antifreeze, High Temperature, Compressive Strength, XRD.

*Corresponding Author: Ilknur Bekem Kara, ilknurbekem@artvin.edu.tr

Antifriz Katkılı Betonda Yüksek Sıcaklık Etkisinin İncelenmesi

İlknur Bekem Kara^{1,*}, Metin Arslan²

¹Artvin Çoruh Üniversitesi, Borçka Acarlar Meslek Yüksekokulu, İnşaat Bölümü, Artvin, 08400, Türkiye

²Ankara Üniversitesi, Uygulamalı Bilimler Fakültesi, Gayrimenkul Geliştirme ve Yönetimi, Ankara, 06590, Türkiye

•Gönderi Tarihi: 06 Haz 2017

•Düzelme Tarihi: 23 Eki 2017

•Kabul Tarihi: 03 Kas 2017

•Çevrimiçi Yayın Tarihi: 07 Kas 2017

Özet

Bu çalışmanın amacı antifriz katkısının betonun yüksek sıcaklık altındaki davranışlarına etkisini belirlemektir. Bu amaca yönelik olarak, referans ve antifriz katkılı C20 sınıfı iki farklı tip beton üretimi yapılmıştır. Taze betonlar plak kalıplara dökülmüş, 14 gün standart kür ardından, plak betonlardan Ø5x10 cm boyutlarında karot örnekleri alınmıştır. 90. günde karot örnekleri 3 saat süresince 20, 200, 400, 550 ve 700 °C sıcaklığa maruz bırakılarak, havada ve su püskürtme yoluyla soğutulmuştur. Karot örnekleri üzerinde su emme, ultra ses geçiş hızı ve basınç dayanımı deneyleri gerçekleştirilmiştir. 20 ve 700 °C beton örneklerinde X ışını kırınım yöntemi ile mikro yapı analiz edilmiştir. Sonuç olarak, 700 °C sıcaklıktan en az etkilenen beton türünün antifriz katkılı su püskürtülerek soğutulan örnekler olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler

Beton, Antifriz, Yüksek Sıcaklık, Basınç Dayanımı, XRD

*Sorumlu Yazar: İlknur Bekem Kara, ilknurbekem@artvin.edu.tr

1. GİRİŞ

Betonun taze ve sertleşmiş durumdaki performansına önemli derecede yön veren kimyasal katkı maddeleri günümüz betonlarının vazgeçilmez bileşenlerindedir. Taze beton özelliklerinin iyileştirilmesi ve aynı zamanda sertleşmiş betondan servis ömrü boyunca karşılaması beklenen mekanik ve çevresel etkilere karşı performansa destek kimyasal katkı maddeleri ile sağlanabilmektedir. Pek çok farklı amaçla kullanılan kimyasal katkı maddelerinin betonun hem taze ve hem de sertleşmiş haldeki performansına nasıl etki ettiğinin anlaşılması, yakın geçmişteki teknolojik gelişmelerin sunduğu makro ve mikro inceleme teknikleri sayesinde daha mümkün olmuştur [1]. Kimyasal katkılar betonun akışkanlığının artırılması, erken ve yüksek dayanıma ulaşması, geçirimsizliğin ve dona dayanımının sağlanması yanında priz sürelerini değiştirmek gibi amaçlarla kullanılmaktadır [2].

Soğuk havada beton dökümünde beton karışımını oluşturan malzemelerin ısıtılması, uygun çimento tipi ve dozajının seçilmesi, gerekli koruma önlemlerinin alınmasının yanı sıra bir diğer çözüm yolu antifriz katkılarının kullanılmasıdır. Bu katkıların iki fonksiyonu vardır: birincisi betonun sıvı fazının donma noktasını düşürmek ikincisi ise priz süresini ve dayanım artışını hızlandırmaktır [3]. Özellikle soğuk iklimde sahip bölgelerde ve kış aylarında betonun önemli bir bileşeni olan bu kimyasal katkı çimentonun hidrasyonunu hızlandırmaktadır. Ancak uzun vadede bu katkının etkileri pek bilinmemektedir [4].

Betonun yapısına zarar veren önemli kalıcılık sorunları arasında donma çözünme, yüksek sıcaklık, aşınma vb. etkiler bulunmaktadır. Bu çevresel etkiler betonun performansının zamanla azalmasına, işlevini ve dayanıklılığını yitirmesine yol açabilmektedir [5]. Yüksek sıcaklık etkisi sırasında betondaki suyun buharlaşması, agreganın ve hidrasyon ürünlerinin parçalanması, mikro yapının kabalaşması ve porozitenin artması gibi fiziksel ve kimyasal değişiklikler meydana gelmektedir. Bu değişikliklerin yüksek sıcaklık etkisi ile betonun mekanik özelliklerinde meydana gelen bozulmalardan kaynaklandığı düşünülmektedir [6].

Geçmişten günümüze betonun yüksek sıcaklık sonrası mekanik ve fiziksel özelliklerindeki değişimler üzerine birçok çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu araştırmalarda; çimento türünün ve agrega tipinin betonun yüksek sıcaklık etkisine dayanıklılığını nasıl etkilediği, puzolanların sıcaklık değişimi sırasındaki davranışları incelenmiştir [7-15]. Bu çalışmada, antifriz katkılı betonların yüksek sıcaklık ve farklı soğutma koşulları sonrasında fiziksel ve mekanik özelliklerindeki değişimler araştırılmıştır.

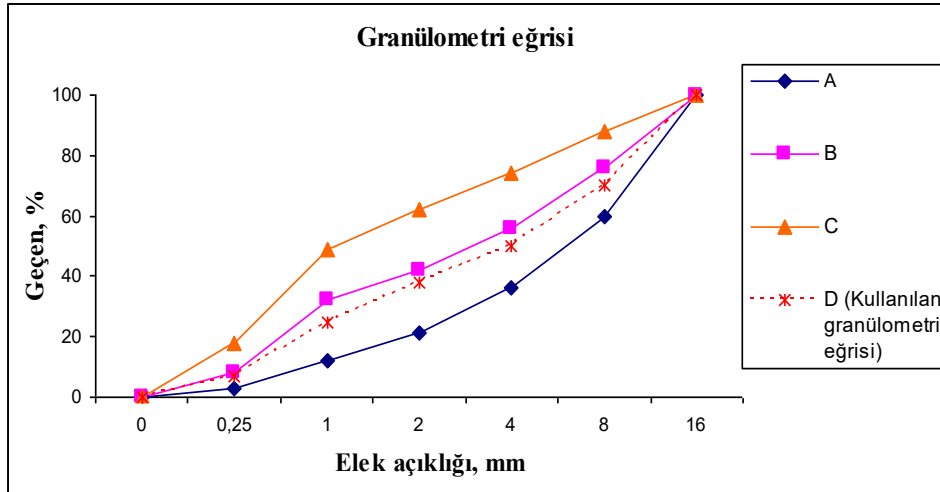
2. MALZEME VE YÖNTEM

2.1. Malzemeler

Çalışmada CEM I 42,5 R çimentosu kullanılmıştır. Çimentoya ait kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikler Tablo 1’de verilmiştir. Beton üretiminde kullanılan agrega Kırşehir yöresi kalker kırmataş olup, boyutları 0-4 mm, 4-8 mm, 8-16 mm’dir. Agregaya ait tane büyüklüğü dağılım analizi Şekil 1’de, agregaların fiziksel özellikleri Tablo 2’de görülmektedir [16, 17]. Antifriz katkı maddesi TS EN 934-2 Sertleşmeyi hızlandırıcı katkıları normuna uygundur [18]. Katkı maddesine ilişkin bazı özellikler Tablo 3’de verilmiştir.

Tablo 1. CEM I 42,5 R fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri

Analiz	Oksit	Değer	Analiz	Deneyler	Değer
Kimyasal, %	SiO ₂	18.86	Fiziksel	Özgül yüzey, cm ² /g	3320
	Al ₂ O ₃	4.98		Hacim Genleşme, mm	1.0
	Fe ₂ O ₃	2.96		Su ihtiyacı, gr	27.9
	CaO	63.02		Priz baş. sür., dak	175
	MgO	1.71		Priz bit. sür., dak.	250
	SO ₃	2.93		Yoğunluk, g/cm ³	3.12
	Na ₂ O	0.25	Mekanik	Gün	MPa
	K ₂ O	0.75		3. gün	29.6
	Cl	0.011		7. gün	44.8
	HCl	0.28		28. gün	55.3



Şekil 1. Agregata tane büyüklüğü dağılımı

Tablo 2. Agregaya ait özellikler

Fiziksel Özellik	Agrega grubu, mm	Değer
Görünür tane yoğunluğu, g/cm ³	0-4	2.72
	4-8	2.72
	8-16	2.74
Su emme miktarı, %	0-4	1.43
	4-8	0.96
	8-16	0.74

Tablo 3. Antifriz katkısına ait bazı özellikler

Özellik	Antifriz
<i>Kimyasal yapı</i>	İnorganik tuz esaslı karışım
<i>Görünüm</i>	Açık kahverengi
<i>Yoğunluk</i>	1.25±0.03
<i>pH</i>	6.00-7.00
<i>Klorür</i>	≤% 0.01
<i>Alkali içeriği</i>	≤% 10

2.2. Yöntemler

Çalışmada referans ve antifriz katkılı olmak üzere TS 802 ve TS EN 206–1 standartlarına uygun olarak iki tip C20 sınıfı beton üretimi yapılmıştır [19, 20]. Kimyasal katkı maddeleri çimento ağırlığının %1 olarak kullanılmıştır. Beton türleri 350 dozajlı olup, çökme değerleri aynıdır. 1 m³ beton karışımına giren malzeme miktarları Tablo 4’de görülmektedir.

Tablo 4. 1 m³ beton karışımına giren malzeme miktarları

Malzeme	Referans	Antifriz katkılı
<i>Çimento, kg</i>	350	350
<i>Su, litre</i>	210	203
<i>Katkı türü, litre</i>	-	3.5
<i>0-4 mm</i>	908	917
<i>Agrega, kg 4-8 mm</i>	544	550
<i>8-16 mm</i>	368	370
<i>Su/çimento</i>	0.60	0.58
<i>Çökme miktarı, cm</i>	10.5	10.0

Taze betonun çökme miktarı TS EN 12350-2 standardına göre gerçekleştirilmiştir [21]. Beton karışımlarına ait kıvam sınıfları S3 olacak şekilde su miktarları ayarlanmıştır. Üretilen taze betonlar TS 1247’ye göre 15 cm x 50 cm x 60 cm boyutlarında plak kalıplara dökülmüştür [22]. 14. gün plak betonlardan TS EN 12504-1 standardı göz önünde bulundurularak 5 cm çapında karot örnekleri çıkarılmış ve 90. güne kadar kür havuzunda bekletilmiştir [23].

90. günde karot örnekleri etüv kurusu halde iken 3 saat boyunca 200, 400, 550 ve 700 °C sıcaklıklara maruz bırakılmıştır. Referans sıcaklık 20 °C olup örnekler laboratuvar koşullarında bekletilmiştir. Beton türlerine ait karot örneklerinin toplam sayısı her bir sıcaklık başına 30’ar adet olmak üzere toplam 150’dir. Sıcaklıkta üst sınırı 700 °C olarak belirlenmesinin sebebi, daha önce gerçekleştirilen bir çalışmada kalker kırma taş ile üretilen beton örneklerin 800 °C’de havada ve suda soğutma işlemlerinin ardından kesit kaybına uğramış ve mekanik özellikleri kontrol edilememiş olmasıdır [24].

Yüksek sıcaklık fırından çıkarılan 30 adet karot örneğinin 15 adedi havada kendiliğinden soğumaya bırakılmıştır. Havada yapılan soğutma uygulamasında beton örnekleri yüzeyinde 20

°C sıcaklığa gelinceye kadar laboratuvar ortamında bekletilmiştir. Diğer 15 adet karot örneğinde ise su püskürtülerek ani soğutma gerçekleştirilmiştir.

Referans ve antifriz katkılı beton örnekleri üzerinde yüksek sıcaklık ve soğutma koşulları uygulandıktan sonra ağırlıkça su emme, ultrases geçiş hızı ve basınç dayanımı deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Beton örneklerinin ağırlıkça su emme oranları ASTM C-642 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiş ve Eşitlik 1 yardımıyla hesaplanmıştır [25].

$$\% m = \frac{B-A}{A} \times 100 \quad (1)$$

Eşitlikte; m, ağırlıkça su emme oranını (%); B, Doygun kuru yüzey ağırlığı (g); A ise etüv kurusu ağırlığı (g) ifade etmektedir.

ASTM C 597-83 standardına uygun olarak beton örneklerinin yüksek sıcaklık ve soğutma koşulları sonrasında ultrases geçiş hızı belirlenmiştir [26]. Kullanılan ultra ses cihazının alıcı ve gönderici uçlarının çapı 4 cm, frekansı ise 55 KHz'dir. Etüv kurusu karot örneklerinin boyları dijital kumpas yardımıyla mm cinsinden ölçülmüş, okunan ses geçiş süresi ses hızına aşağıdaki Eşitlik 2 kullanılarak çevrilmiştir.

$$V = L/t \quad (2)$$

Eşitlikte; V, ses hızı (km/s); t, ses geçiş süresini (saniye); L ise ölçü boyunu (km) ifade etmektedir.

Basınç dayanımı deneyi TS EN 12390-3 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir [27]. Kullanılan cihazın kapasitesi 25 tondur. Basınç dayanımı değeri Eşitlik 3. kullanılarak hesaplanmıştır.

$$f_{ck} = F/A \quad (3)$$

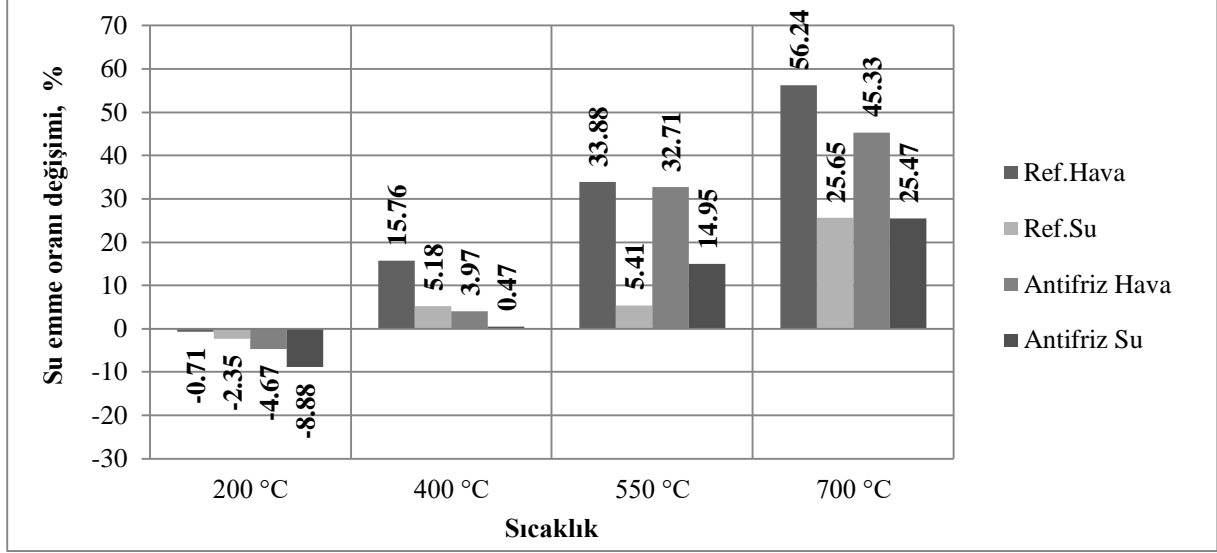
Eşitlikte; f_{ck} basınç dayanımını (N/mm²), F en büyük yükü (N), A numunenin alanını (mm²) ifade etmektedir.

Beton türlerine ait minerolojik değişimin belirlenmesi amacıyla, çalışmanın en alt ve en üst sıcaklık değerleri olan 20 ve 700 °C için karot örnekleri toz haline getirilmiş ve XRD yöntemi ile analiz edilmiştir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Su Emme Oranı

Su emme oranı referans beton türü için 90. günde %4.25; antifriz katkıli beton türü için %4.28'dir. Sıcaklık ve soğutma koşulları etkisiyle su emme oranlarında meydana gelen değişimler Şekil 2'de görülmektedir.



Şekil 2. Referans ve antifriz katkıli betonların su emme oranlarının yüksek sıcaklık ve farklı soğutma koşullarında değişimi

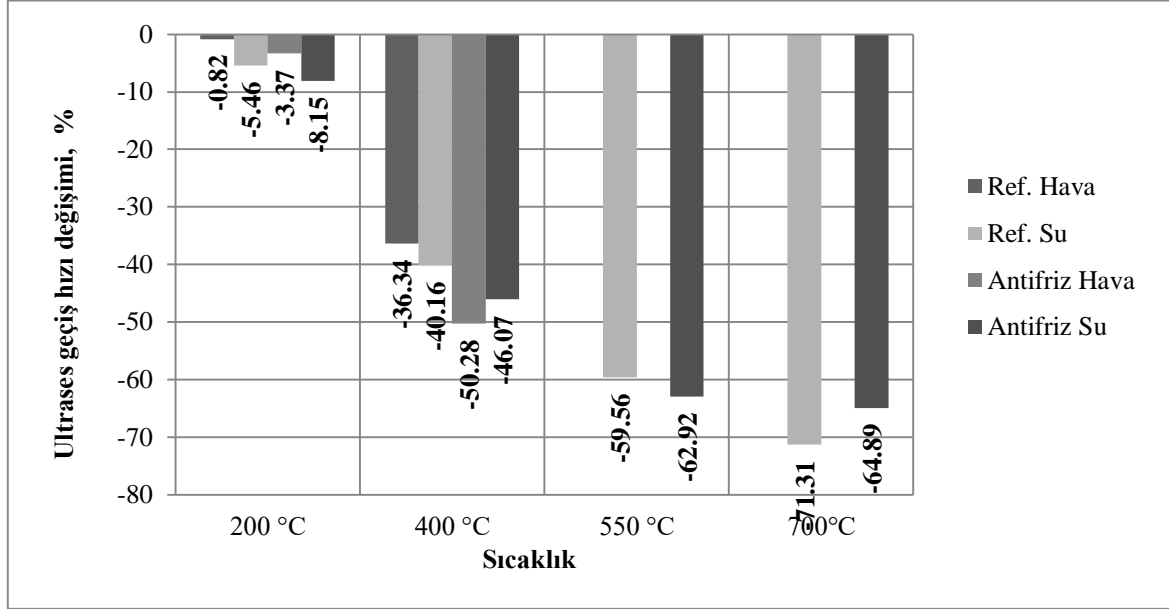
200 °C'de her iki beton türünde su emme oranlarında azalma meydana gelmiştir. Antifriz katkıli beton ilgili sıcaklıktan referans betona göre daha fazla etkilenmiştir. Sıcaklık arttıkça su emme oranlarında artış meydana geldiği görülmektedir. Su püskürtülerek soğutulan örneklerin havada soğutulanlara göre yüksek sıcaklıktan daha az etkilendiği belirlenmiştir. Antifriz katkıli beton 700 °C'de her iki soğutma koşulunda referans betona göre daha iyi sonuç vermiştir.

3.2. Ultrases Geçiş Hızı

Referans beton türünün 90. günde ultra ses geçiş hızı değeri 3.66 km/sn; antifriz katkıli beton türünün ise 3.56 km/sn'dir. Her iki beton türü de "iyi" olarak nitelendirilmektedir. Sıcaklık ve soğutma koşulları etkisiyle ultrases geçiş hızı değerlerinde meydana gelen değişim Şekil 3'de verilmiştir.

Referans ve antifriz katkıli betonların sıcaklık arttıkça ultra ses geçiş hızları azalmıştır. 550 ve 700 °C sıcaklıklarda havada soğutulan örneklerin ultra ses geçiş hızı değerleri belirlenememiştir. Bu durumun 550 °C'de çimento yapısında bulunan Ca(OH)_2 'in değişime uğrayarak artık CaO 'e dönüşmüş olabileceğinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu değişim sonucunda örneklerde gözenekli bir yapı oluştuğu görülmüştür. Su püskürtülerek soğutulan örneklerde ise CaO tekrar Ca(OH)_2 'e dönüşmekte ve dolayısıyla hacim artışı olduğu düşünülmektedir. Bu nedenle havada soğutulan örneklere nazaran suda soğutulan örneklerin

ultrases geçiş hızının ölçülebilir düzeyde olduğu kanatine varılmıştır. Diğer taraftan 550 ve 700 °C sıcaklıklara tabi tutulan beton örneklerinin havada soğutulanları üzerinde oluşan çatlaklar ultrases geçiş hızının okunamamasının fiziksel nedeni olarak görülmüştür. 700 °C’de antifriz katkıli betonun ultrases geçiş hızındaki azalma, referans betondan daha düşük değerdedir.



Şekil 3. Referans ve antifriz katkıli betonların ultrases geçiş hızı değerlerinin yüksek sıcaklık ve farklı soğutma koşullarında değişimi

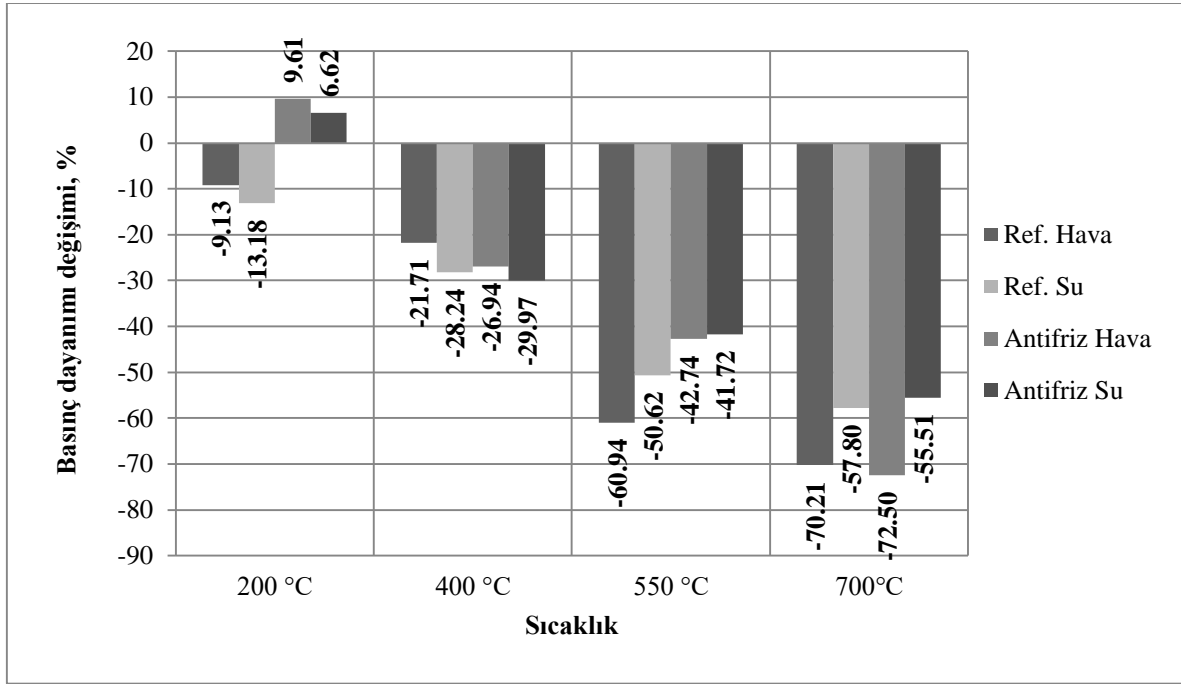
3.3. Basınç Dayanımı

90. günde referans betonun basınç dayanımı 29.67 N/mm²; antifriz katkıli betonun basınç dayanımı ise 23.42 N/mm²'dir. Sıcaklık ve soğutma koşulları etkisiyle beton türlerinde meydana gelen basınç dayanımı değişimi Şekil 4’de görülmektedir.

200 °C sıcaklıkta her iki soğutma koşulunda referans betonun basınç dayanımı azalma gösterirken, antifriz katkıli betonların basınç dayanımında artış meydana gelmiştir. Bu durum literatürde “Betonda meydana gelen 50-120 °C sıcaklık aralığında dayanımdaki düşüş, hamurdaki su tabakalarının şişmesi nedeniyle bağların zayıflamasına bağlanmaktadır. Dayanımların bu sıcaklıktan sonra tekrar kazanılması termal kurumunun yararlı etkisinden kaynaklanmaktadır. Termal dehidratasyonun bu yararlı etkisi, mekanik özelliklerin bozulmasına neden olan jelin dehidratasyonu ve mikro çatlakların oluştuğu 300 °C'nin üzerinde sona erer [28]” şeklinde açıklanmaktadır.

400 °C’de antifriz katkıli betonun basınç dayanımı kaybı daha fazla iken, 550 °C’de bu durum tersine dönmüştür. 550 °C’de referans betonda dayanım kaybı %50’nin üzerine çıkarken, antifriz katkıli beton daha az basınç dayanımı kaybına uğramıştır. 700 °C’de su püskürtülerek

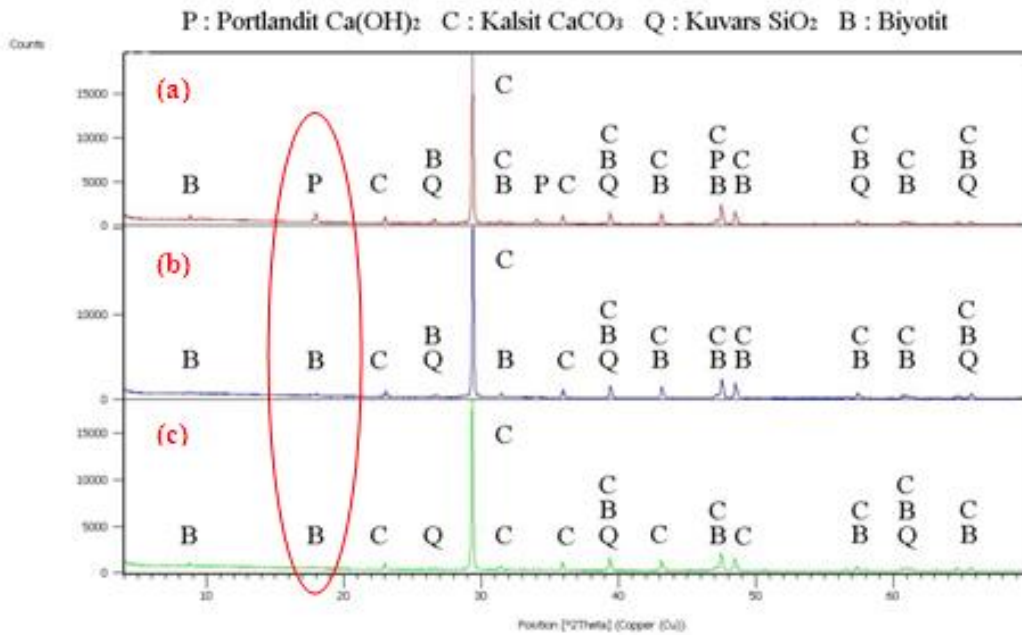
yapılan soğutmada antifriz katkıli beton % 55.51 dayanım kaybına uğrarken, referans beton %57.80 dayanım kaybına uğramıştır.



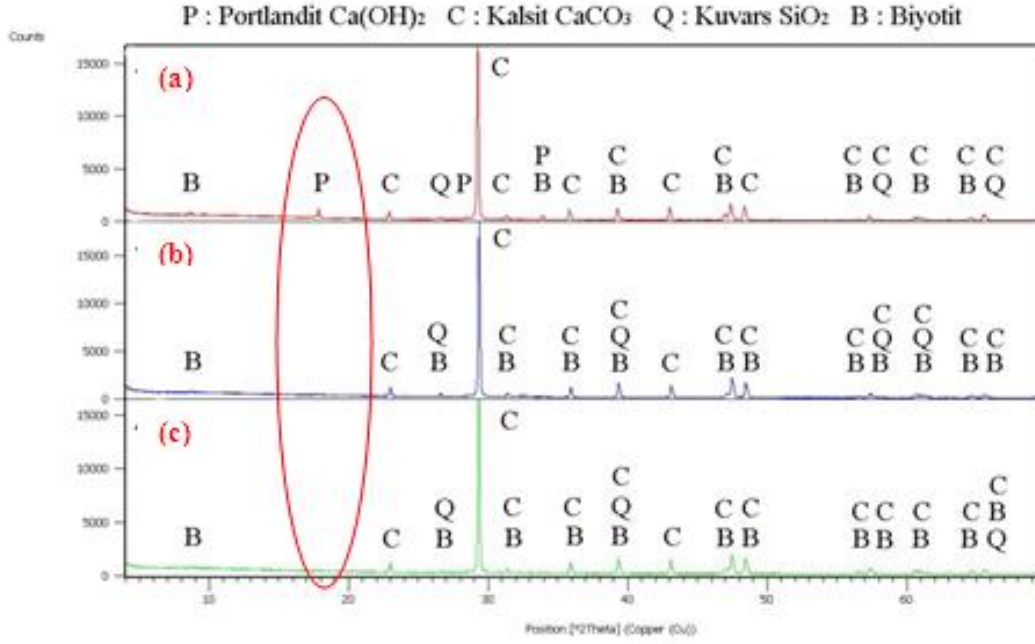
Şekil 4. Referans ve antifriz katkıli betonların basınç dayanımlarının yüksek sıcaklık ve farklı soğutma koşullarında değişimi

3.4. XRD

XRD kırınım desenleri incelendiğinde referans (Şekil 5) ve antifriz katkıli beton (Şekil 6) türlerinde 20 °C’de portlandit mineralinin olduğu, 700 °C’de her iki soğutma koşulunda ise bu mineralin oldukça azaldığı tespit edilmiştir.



Şekil 5. Referans betonun XRD kırınım desenleri (a) 20 °C (b) 700 °C havada soğutma (c) 700 °C su püskürterek soğutma



Şekil 6. Antifriz katkılı betonun XRD kırınım desenleri (a) 20 °C (b) 700 °C havada soğutma (c) 700 °C su püskürtülerek soğutma

4. SONUÇLAR

Referans ve antifriz katkılı betonlarda farklı sıcaklık (20, 200, 400, 550 ve 700 °C) ve havada/su püskürtülerek yapılan soğutma uygulamaları ile aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Her iki beton türünde de havada soğutulan örnekler su püskürtülerek soğutulan örneklere göre daha fazla bozulma göstermiştir. 200 °C sıcaklık uygulanan antifriz katkılı betonun basınç dayanımında 20 °C sıcaklığa göre artış meydana gelmiştir.

Sıcaklık arttıkça genel olarak her iki beton türünde de su emme oranı artmış, ultrases geçiş hızı ve basınç dayanımı azalmıştır.

700 °C'de su püskürtülerek soğutulan antifriz katkılı örneklerin su emme oranı %25.47 artmış; ultrases geçiş hızı % 64.89 azalmıştır. İlgili sıcaklık ve soğutma koşulunda antifriz katkılı beton referansa göre daha iyi sonuç vermiştir.

Basınç dayanımı kaybı ise 700 °C'de referans betonda %57.80 iken; antifriz katkılı betonda %55.52'dir.

XRD sonuçları incelendiğinde her iki beton türünde de 700 °C sıcaklık etkisi ve soğutma koşulları ile portlandit pikinin azaldığı görülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] B.Y. Pekmezci and H.N. Atahan, *Kimyasal ve nano katkıları: betonda kullanımı ve beton performansına etkileri*, Hazır Beton Dergisi, Mayıs-Haziran (2014) 69-82.

- [2] M. Uysal and K. Yılmaz, *Aşırı dozda akışkanlaştırıcı katkı kullanımının beton özelliklerine etkisi*. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi 25(1) (2012) 19-34.
- [3] A.R. Sağlam and N. Parlak, *Soğuk havada dökülen beton özelliklerine kimyasal katkıların etkisi*. Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyumu, Ankara (2005) 257-274.
- [4] M. Çullu and M. Arslan, *The effects of antifreeze use on physical and mechanical properties of concrete produced in cold weather*. Composites: Part B 50 (2013) 202-209.
- [5] T. Kaya, C. Karakurt and M. Dumangöz, *Mineral katkıli kendiliğinden yerleşen betonların porozite ve basınç dayanımlarına yüksek sıcaklığın etkisi*, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi 1(1) (2014) 39-44.
- [6] Q. Ma, R. Guo, Z. Zhao, Z. Lin, K. He, *Mechanical properties of concrete at high temperature –A review*. Construction and Building Materials 93 (2015) 371-383.
- [7] A.B. Kızılkant, N. Yüzer and N. Kabay, *Thermo-physical properties of concrete exposed to high temperature*, Construction and Building Materials 45 (2013) 157-161.
- [8] J. Xiao and G. König, *Study on concrete at high temperature in China—An overview*, Fire Safety Journal 39 (2004) 89-103.
- [9] A.B. Kızılkant and N. Yüzer, *Yüksek Sıcaklık Etkisindeki Harcın Basınç Dayanımı-Renk Değişimi İlişkisi*, İMO Teknik Dergi 19 (92) (2008) 4381-4392.
- [10] S. Subaşı, B. İşbilir and İ. Ercan, *Uçucu kül ikameli çimento numunelerinin mekanik özelliklerine yüksek sıcaklığın etkisi*, Politeknik Dergisi, 14(2) (2011) 141-148.
- [11] M.J. Heap, Y. Lavalley, A. Laumann, K.U. Hess, P.G. Meredith, D.B. Dingwell, D. Huismann and F. Weise, *The influence of thermal-stressing (up to 1000°C) on the physical, mechanical, and chemical properties of siliceous-aggregate, high-strength concrete*, Construction and Building Materials 42 (2013) 248-265.
- [12] N. Yaltay and C.E. Ekinci, *Kolemanit katkıli ve pomza agregalı hafif betonların yüksek sıcaklık altındaki basınç mukavemeti özelliğinin tahribatsız yöntemle incelenmesi*, SDU International Technologic Science, 5(2) (2013) 30-41.
- [13] M.S. Morsy, Y.A. Al-Salloum, H. Abbas and S.H. Alsayed, *Behavior of blended cement mortars containing nano-metakaolin at elevated temperatures*, Construction and Building Materials 35 (2012) 900-905.
- [14] O. Abdulkareem, A. Murtafa Al Bakri, H. Kamarudin, I.K. Nizar and A.A. Saif, *Effects of elevated temperatures on the thermal behavior and mechanical performance of fly ash geopolymer paste, mortar and lightweight concrete*, Construction and Building Materials 50 (2014) 377-387.
- [15] H. Fares, S. Remond, A. Noumowe and A. Cousture, *High temperature behaviour of self-consolidating concrete microstructure and physicochemical properties*, Cement and Concrete Research 40 (2010) 488-496.
- [16] TS 3530 EN 933-1 *Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 1: Tane Büyüklüğü Dağılımı Tayini - Eleme Metodu*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara (1999).
- [17] TS EN 1097-6 *Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 6: Tane Yoğunluğu ve Su Emme Oranının Tayini*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara (2002).
- [18] TS EN 934-2 *Kimyasal Katkılar- Beton, Harç ve Şerbet için- Bölüm 2: Beton Kimyasal Katkıları-Tarifler, Gereklere, Uygunluk, İşaretleme ve Etiketleme*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara (2011).
- [19] TS 802 *Beton Karışımı Hesap Esasları*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara (1985).
- [20] TS EN 206-1 *Beton- Bölüm 1: Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara (2002).
- [21] TS EN 12350-2 *Beton-Taze Beton Deneyleri-Bölüm 2: Çökme (Slamp) Deneyi*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara (2002).
- [22] TS 1247 *Beton Yapım, Döküm Ve Bakım Kuralları (Normal Hava Koşullarında)*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara (1984).
- [23] TS EN 12504-1 *Beton-Yapıda Beton Deneyleri-Bölüm 1: Karot Numuneler-Karot alma, Muayene ve Basınç Dayanımı Tayini*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara (2011).
- [24] İ. Bekem, *Kalker Kırmataş İle Üretilen Betonların Yüksek Sıcaklık Etkisine Dayanıklılığı*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Ankara (2010).

- [25] ASTM C 642 *Standard test method for density, absorption, and voids in hardened concrete*. Philadelphia, USA: Annual Book of ASTM Standards, (2004).
- [26] ASTM C 597, *Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete*, Philadelphia, USA: Annual Book of ASTM Standards, (2002).
- [27] TS EN 12390-3, *Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 3: Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara (2003).
- [28] B. Baradan and S. Aydın, *Betonun Durabilitesi*, Beton 2013 Hazır Beton Kongresi (2013) 54-68.