

Beyaz Çimentolu Betonlarda Yüksek Sıcaklık Etkisinin Araştırılması

İlknur Bekem KARA^{1*}, Cuma KARA¹

¹Artvin Çoruh Üniversitesi, Borçka Acarlar Myo İnşaat Bölümü

(Alınış / Received: 02.02.20016, Kabul / Accepted: 03.11.2016, Online Yayınlanma / Published Online: 30.12.2016)

Anahtar Kelimeler

Beyaz Çimento,
Yüksek Sıcaklık,
Beton,
Soğutma,
Basınç Dayanımı

Özet: Bu çalışmanın amacı beyaz çimento ile üretilen betonların yüksek sıcaklık ve farklı soğutma koşulları sonrası fiziksel ve mekanik özelliklerindeki değişimin belirlenmesidir. Bu amaca yönelik olarak BPC 52.5 R çimentosu, kalker kırmataş agrega, Kırşehir şehir şebeke suyu ve süperakışkanlaştırıcı katkı maddesi kullanılarak C30 sınıfı beton karışımı hazırlanmıştır. Taze beton 12cm*50cm*60cm boyutlarında plak kalıba dökülerek, 14. gün 5 cm çapında karot örnekleri alınmıştır. 360. güne kadar kür havuzunda bekletilen karot örnekleri, etüv kurusu hale getirilerek 300, 450, 600, 750 ve 900 °C sıcaklıklara 3 saat süresince maruz bırakılmıştır. Referans olarak laboratuvar şartlarında (20 °C) bekletilen örnekler alınmıştır. Sıcaklık sonrası örnekler üzerinde fırın içerisinde kendiliğinden soğuma ve su ile ani soğuma şartları uygulanmıştır. Sıcaklık ve soğutma şartlarına maruz bırakılan beton örnekleri üzerinde ağırlık kaybı, ultrases geçiş hızı, basınç dayanımı deneyleri gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak sıcaklık arttıkça betonun ağırlık kaybının arttığı, ultrases geçiş hızı ve basınç dayanımı değerlerinin azaldığı belirlenmiştir. Soğutma şartları arasındaki en belirgin fark 750 °C'de görülmeye başlanmıştır. Su ile aniden soğutulan örneklerin ağırlık kaybı (%7,74), ultrases geçiş hızı azalma oranı (%78,18) ve dayanım kaybı (%84,52) kendiliğinden soğumaya göre daha fazladır. Tepe sıcaklık olan 900 °C'de su ile yapılan ani soğutmada beton yapısı tamamen bozulmuştur. Kendiliğinden soğuyan örneklerde ise 900 °C'de basınç dayanımı % 89 oranında azalma göstermiştir.

Investigation of High Temperature Effects on Concrete With White Cement

Keywords

White Cement,
High Temperature,
Concrete,
Cooling,
Strenght

Abstract: The purpose of this work is to determine the change in the physical and mechanical properties of concrete produced with white cement after the high temperature and different cooling conditions. For this reason, C30 class concrete has been produced by using 52.5 R white cement, calcareous crushed stone aggregate, super plasticizer admixture and water as additional material. Fresh concrete is poured into the plat mold that's size 12cm * 50cm * 60cm and the on 14. days, core samples that diatemer is 5 cm, are taken. They were heated to cure the pool for 360 days. 200, 300, 450, 600, 750 and 900 °C temperatures were applied to core samples. Reference samples are under laboratory conditions (20 °C) samples that are on hold with. After high temperature, self-cooling in the furnace and sudden cooling down with water were applied on samples. Weight loss, ultrasonic pulse velocity, compressive strength experiments were conducted on these concretes. As a result, when temperature increases, the loss in wight of concrete has increased, also ultrasonic pulse velocity and compressive strength values are reduced. The most obvious difference between the cooling conditions began to be seen in the 750 °C. Weight loss (7,74%), ultrasonic pulse velocity reduction ratio (78,18%) and strength loss (84,52%) of the sample is cooled suddenly with water are more than the samples self cooling. On the 900 ° C that is peak temperatures, concrete structure is completely degraded in sudden cooling with water. Compressive strength of self cooling samples has decreased by 89% on 900 °C.

1.Giriş

Mimari betonda kullanılan çimento türü üretilen betonun kullanım yerine göre değişkenlik göstermektedir. Genellikle normal portland çimentosu kullanmak, çimentonun gri yeşil rengi çoğu kez mimarlar tarafından uygun bulunduğu için yaygındır. Bazı uygulamalarda ise normal portland çimentosu kullanmak agregaların görünürlüğünü azalttığı için tercih edilmezler. Bu durumda beyaz portland çimentosu kullanmak daha parlak renklerin elde edilmesini, yerine göre ise agregaların belirginleşmesini sağlamaktadır. Özellikle son yıllarda mimari bir akım olarak beyaz beton kullanımı artmıştır [1].

Hazır beyaz beton konusunda yapılan bir çalışmada; Kırca ve Şahin (2004) çalışmalarında beyaz betonun kullanım yerleri, özellikleri ve üretim tekniği hakkında ayrıntılı bilgiler ve bu konudaki uygulama örneklerini vermişlerdir. Deneysel çalışmalarında 250 ve 550 kg arasında beyaz çimento kullanarak tasarladıkları betonlarda C50 sınıfına kadar beton üretilebileceğini belirtmişlerdir [2]. Uysal ve ark. (2011) yaptıkları deneysel çalışma sonucunda estetik ve dekoratif özelliklere sahip olduğu düşünülen beyaz çimentonun, yük taşıma kabiliyeti açısından da gösterdiği performansla, beyaz betonarme yapı imalatlarında da kullanılabilirliğini ifade etmiştir [3].

Türkiye’de beyaz beton konusunda uygulamaya yakın zamanda geçilmiştir. Kahramanmaraş belediyesi yeni hizmet binası projesinde C30 sınıfı 18.000 m³ gri (normal) beton ve aynı sınıftan 4.500 m³ beyaz çimentolu beton kullanılmıştır. Bodrumlar ve zemin kat dâhil 14 katlı olan hizmet binası projesinin, dış cephesindeki tüm betonarme kolonları ve dış perde elemanları C30 beyaz çimentolu beton ile binanın iç cephesindeki elemanlar ise C30 normal beton ile projelendirilmiştir. Bu sebeple yapıda, beyaz çimentolu hazır beton ve normal gri çimentolu hazır beton birlikte kullanılmıştır. Beyaz çimento ve beyaz hazır betonun, sanatla mimariyi, sanatla mühendisliği ve teknolojiyi bağdaştırma özelliğiyle modern yerleşim alanlarında birçok büyük projede uygulanma imkânı bulacağından bahsedilmiştir [4]. Beyaz çimento ve beyaz beton ile ilgili çalışmalar halen sürmektedir.

Beton dayanımını ve dayanıklılığını etkileyen dış faktörlerden biri yüksek sıcaklık etkisidir. 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 [5-8]. Ancak, beyaz çimento ile üretilen betonun yüksek sıcaklığa dayanıklılığını inceleyen çalışmaların literatürde yer almadığı görülmüştür. Bu nedenle çalışmanın amacı, beyaz çimento ile üretilen betonların yüksek sıcaklık ve farklı soğutma koşulları sonrasındaki dayanımını incelemektir.

2. Materyal ve Metod

2.1. Materyal

Çalışma sürecinde BPC 52,5 R çimentosu, kalker kırmataş agrega, Kırşehir şehir şebeke suyu ve süperakışkanlaştırıcı beton katkısı kullanılmıştır. Araştırma sürecinde ÇİMSA’dan temin edilen BPC 52,5 R çimentosuna (beyaz çimento) ait kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikler **bknz Tablo 1.**’de verilmiştir [9]. Kalker kırmataş agrega Kırşehir yöresine ait Obruk taş ocağından alınmıştır. Obruk taş ocağı Kırşehir’e 15 km uzaklıkta olup, moloz taş, konkasörle kırmataş üretimi yapılmaktadır. Kimyasal katkı maddesi olarak TS EN 934-2 [10]’ye uygun yüksek oranda su azaltıcı/süper akışkanlaştırıcı beton katkısı kullanılmıştır. Süperakışkanlaştırıcı kimyasal katkısına ait özellikler **bknz Tablo 2.**’de görülmektedir.

2.2. Metod

Taş ocağından alınan agrega grupları 0-4 mm, 4-8 mm, 8-16 mm boyutlarındadır. Agregalar üzerinde TS EN 1097-6, “Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 6: Tane Yoğunluğu ve Su Emme Oranının Tayini” standardına göre tane yoğunluğu, su emme (**bknz Tablo 3.**) ve TS 3530 EN 933-1 “Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 1: Tane Büyüklüğü Dağılımı Tayini - Eleme Metodu” standardında belirtilen esaslara göre tane büyüklüğü dağılım analizi (**bknz Şekil 1.**) deneyleri gerçekleştirilmiştir [11,12, 13].

Beton karışımı TS 802 “Beton Karışımı Hesap Esasları” ve TS EN 206-1 “Beton- Bölüm 1: Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk” standartlarına uygun olacak şekilde C30’a göre tasarlanmış olup, 1 m³ beton karışımına giren malzemeler **bknz Tablo 4.**’de verilmiştir [14, 15]. 300 dozlu hazırlanan betonun S/Ç oranı 0,60 olup, taze beton sıcaklığı 21,4 °C ölçülmüştür. Karışım için gerekli malzemeler 35 dm³ hacimli laboratuvar tipi beton mikserinde TS 1247 “Beton Yapım, Döküm ve Bakım Kuralları (Normal Hava Şartlarında)” standardına göre karıştırılmıştır [16].

Taze betonlar 12 cm*50 cm*60 cm boyutlarında plak kalıba iki aşamada dökülmüştür. Taze beton daldırma vibratör ile sıkıştırılarak yüzeyi masterla düzeltilmiştir. 3 gün boyunca standart kür uygulanan plak beton 3. Gün kalıptan çıkarılarak kür havuzuna yerleştirilmiştir. 14. gün plak betondan 5 cm çapında karotlar alınmıştır [17]. Alınan karotların iki yüzü taş kesme makinesi ile traşlanarak 100±5 mm boya sahip olacak şekilde ölçümlere hazır hale getirilmiştir. Alınan karotlar 360 gün boyunca kür havuzunda bekletilmiştir.

360 gün kür havuzundan çıkarılan karot örnekleri yüksek sıcaklığa maruz bırakılmadan önce 24 saat boyunca etüvde 100±10 °C'de bekletilmiştir. Etüv kuru halindeki beton örnekleri 300, 450, 600, 750 ve 900 °C sıcaklıklara 3 saat süresince maruz bırakılmıştır. Her bir sıcaklık derecesi için 6 adet karot örneği kullanılmıştır. 6 karot örneğinden 3 adedi fırın içerisinde kendiliğinden soğumaya maruz bırakılmıştır. Kendiliğinden soğuma işleminde fırının üst kısmında bulunan havalandırma kapağı açılmış yaklaşık olarak 12-20 saat sonra fırın içi sıcaklığı 20 °C'ye düştüğünde örnekler üzerinde sertleşmiş beton deneyleri yapılmıştır.

Diğer 3 adedi üzerinde ise su ile ani soğutma gerçekleştirilmiştir. 300 °C sıcaklığa maruz kalan karotlar için 5 dakika, 450 °C için 7 dakika, 600 °C için 10 dakika, 750 °C için 12 dakika, 900 °C için ise 15 dakika boyunca su yağmurlama yöntemi kullanılarak örneklerin soğutulmasında kullanılmıştır. Su ile soğutulan betonlar etüv kuru hale getirilerek örnekler üzerinde sertleşmiş beton deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Sıcaklık faktörünün altı seviyesi (20, 300, 450, 600, 750 ve 900 °C) ve soğutma faktörünün iki seviyesine (kendiliğinden fırın içinde soğuma/su ile ani soğuma) maruz bırakılan beton örnekleri üzerinde ağırlık kaybı, ultrases geçiş hızı, basınç dayanımı deneyleri gerçekleştirilmiştir [18, 19].

3. Bulgular

Beyaz çimento ile üretilen betonlar üzerinde 20, 300, 450, 600, 750 ve 900 °C sıcaklık ve farklı soğutma (fırın içinde kendiliğinden soğuma/su ile aniden soğuma) uygulamaları sonrası deneyleri gerçekleştirilen ağırlık kaybı, ultrases geçiş hızı ve basınç dayanımına ilişkin bulgular aşağıda verilmiştir. 900 °C'de su ile aniden soğutulan örneklerde betonun fiziksel özelliklerini kaybederek gevrek hale gelmesinden, malzemenin erimesi ve dağılmasından dolayı ağırlık kaybı, ultrases geçiş hızı ve basınç dayanımı ölçülememiştir.

3.1. Ağırlık kaybı

Sıcaklık ve soğutma uygulamaları öncesi ve sonrasında beton örneklerinin etüv kuru ağırlıkları ölçülerek ağırlık kaybı oranları hesaplanmıştır. Ortalama ağırlık kaybı oranları (**bknz Şekil 2.**) incelendiğinde;

- Sıcaklık arttıkça ağırlık kaybı oranlarının arttığı,
- 300, 450 ve 600 °C sıcaklıklarda kendiliğinden soğumaya bırakılan beton örneklerinin ağırlık kayıplarının su ile aniden soğutulan örneklerde daha fazla olduğu,
- 750 °C'de soğutma koşulları arasındaki davranışın önceki sıcaklıklara göre tersine döndüğü ve su ile aniden soğutulan örneklerin ağırlık kaybının kendiliğinden soğuyan örneklerle göre daha fazla olduğu,
- 900 °C'de ağırlık kaybı oranının kendiliğinden soğuyan örneklerde % 24,36'ya kadar ulaştığı görülmüştür.

3.2. Ultrases geçiş hızı

360. günde 20, 300, 450, 600, 750 ve 900 °C sıcaklık ve iki farklı soğutma koşulu uygulanan karot örneklerinden elde edilen ultrases geçiş hızı değerleri **bknz Şekil 3.**'de görülmektedir. Bu çalışmada, ultrases geçiş hızı ve beton kalitesi arasında Çizelge 3'e göre değerlendirilmiştir [20].

Ultrases geçiş hızı değerleri artan sıcaklıklar ve farklı soğutma koşullarında incelendiğinde;

- 20 °C'de beton örneklerinin ultrases geçiş hızı değerinin 4,39 km/sn ile **bknz Tablo 5.**'e göre bu durumda beton kalitesinin "iyi" olduğu,
- Sıcaklık artışı ile ultrases geçiş hızı değerlerinin azaldığı,
- 300 °C'de her iki soğutma koşulunda ve 450 °C'de su ile aniden soğutmada beton kalitesinin "zayıf" olarak değerlendirilebileceği,
- 600, 750 ve 900 °C sıcaklıklarda beton örneklerinin kalitesinin ultrases geçiş hızı <2,0 km/sn olmasından dolayı "çok zayıf" olduğu belirlenmiştir.

Sıcaklık öncesi ve sonrasında ortalama ultrases geçiş hızı değerleri kullanılarak oluşturulan ultrases geçiş hızı azalma oranları (**bknz Şekil 4.**) hesaplanmıştır. 450 °C'de her iki soğutma türü için ultrases geçiş hızı 20 °C'ye göre %50'nin üzerinde azalmıştır. 600 °C 'de ise bu oran % 60'ın üzerindedir. 450 ve 600 °C'lerde soğutma

şartlarının birbirine çok yakın sonuçlar verdiği, 300, 750 ve 900 °C sıcaklıklarda su ile soğutulan örneklerin daha fazla zarar görek ultrases geçiş hızı azalma oranlarının kendiliğinden soğumaya göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

3.3. Basınç Dayanımı

Sıcaklık ve soğutma uygulamaları sonrası ortalama basınç dayanımı değerleri **bknz Şekil 5.**'de, sıcaklık arttıkça meydana gelen basınç dayanımı kayıp oranları **bknz Şekil 6.**'da verilmiştir. 20 °C sıcaklıkta bekletilen referans beton örneklerinin ortalama basınç dayanımı değerleri baz alınarak yüksek sıcaklıklarda oluşan basınç dayanımı kayıpları yüzde cinsinden hesaplanmıştır.

Artan sıcaklıklar ve farklı soğutma koşullarında beton örneklerinin basınç dayanımı testi sonuçlarına göre;

- 20 °C'de beyaz çimento ile üretilen beton örneklerinin ortalama basınç dayanımının 28,52 N/mm² olduğu,
- Sıcaklık artışı ile basınç dayanımı değerlerinin azaldığı,
- Soğutma koşulları arasında fark gözlemlendiği,
- 900 °C'de su ile aniden soğutmada basınç dayanımı testinin gerçekleştirilememesi nedeniyle bu sıcaklığa ilişkin dayanım değeri olmadığı belirlenmiştir.

700 °C ve daha yüksek sıcaklıklarda çimento yapısında ve kalker kökenli agregadan kaynaklı olarak beton içinde bulunan Ca(OH)₂'in değişime uğrayarak CaO'e dönüştüğü, su ile aniden yapılan soğutma işlemi ile CaO+ H₂O → Ca(OH)₂ ortaya çıktığı ve bu nedenle betonun dağıldığı kanaatine varılmıştır. Beyaz çimentolu betonlarda bu durum 900 °C'de ortaya çıkmıştır **bknz Şekil 6.** 900 °C'de su ile aniden soğutulan örneklerde basınç dayanımı testi gerçekleştirilemediği için kayıp oranı % 100 olarak alınmıştır [21].

Dayanım kayıpları incelendiğinde (**bknz Şekil 6.**);

- 300 ve 600 °C'lerde kendiliğinden soğuyan örneklerin su ile aniden soğuyan örneklere göre daha fazla dayanım kaybına uğradığı,
- 450 °C'de dayanım kaybının % 50'nin üzerinde olduğu,
- 450, 750 ve 900 °C sıcaklıklarda su ile aniden soğutulan örneklerin kendiliğinden soğuyan örneklere göre daha fazla zarar gördüğü elde edilen bulgular arasındadır

Beton türlerinde 300 ve 600 °C'lerde dayanım kayıpları incelendiğinde, su ile aniden soğutulan örneklerin dayanım kaybının kendiliğinden soğutmaya göre daha az olduğu belirlenmiştir. Su ile soğutulan örneklerin basınç dayanımının havada soğutulan örneklere göre daha yüksek olduğu bilinmektedir [8].

4. Tartışma ve Sonuç

Beyaz çimento ile hazırlanan beton örnekleri üzerinde 360. günde uygulanan 20, 300, 450, 600, 750 ve 900 °C yüksek sıcaklık uygulamaları ve kendiliğinden fırın içinde soğuma/su ile aniden soğuma şartları sonrasında ağırlık kaybı, ultrases geçiş hızı ve basınç dayanımı özellikleri incelenmiştir. Sıcaklık artışıyla ağırlık kaybının arttığı, ultrases geçiş hızı ve basınç dayanımının azaldığı görülmüştür. 600 °C'ye kadar kendiliğinden soğutulan örneklerin ağırlık kayıpları daha fazla iken, 750 ve 900 °C'de su ile aniden soğutulan örneklerin ağırlık kayıplarının daha fazla olduğu belirlenmiştir. 900 °C'de kendiliğinden soğuyan betonun ağırlık kaybı % 24,6'dır. Referans sıcaklıkta betonun ultrases geçiş hızı 4,39 km/sn iken 70 °C'de bu değer kendiliğinden soğuyan örnekler 1,32 km/sn ve su ile aniden soğutulan örneklerde ise 0,94 km/sn'ye düşmüştür. 600 °C'den sonra ultrases geçiş hızına göre beton kalitesi "çok zayıf" olarak değerlendirilebilmektedir. Ultrases geçiş hızlarındaki azalma oranlarına bakıldığında (referans sıcaklığa göre) 450 °C ve ile beton ultrases geçiş hızı % 50'nin üzerinde azalmıştır. 900 °C'de ise bu azalma oranı kendiliğinden soğuyan örneklerde % 88,19'dur. 20 °C'de beyaz çimento ile hazırlanan beton örneklerinin ortalama basınç dayanımı 28,52 N/mm² olarak belirlenmiştir. 450 °C'de dayanım kaybının her iki soğutma koşulunda da % 50'nin üzerinde olduğu, 750 °C'de kendiliğinden soğuyan örneklerin % 74, aniden soğuyan örneklerin ise % 84 dayanım kaybettiği, tepe sıcaklık olan 900 °C'de ise kendiliğinden soğuyan örneklerin basınç dayanımı kaybının % 89 olduğu elde edilen bulgular arasındadır.

900 °C'de su ile aniden soğutulan örneklerin dağılmasından dolayı ağırlık kaybı, ultrases geçiş hızı ve basınç dayanımı deneyleri gerçekleştirilememiştir. Bu durumun literatürde yer alan çimento ve kalker kırmataştan dolayı beton yapısında bulunan kalsiyumoksitin suyla reaksiyona girerek çözünmesi ve kalsiyum hidroksit meydana getirmesine bağlı olduğu düşünülmektedir.

Beyaz çimentonun farklı sıcaklıklardaki fiziksel ve mekanik özelliklerindeki değişimin farklı tür agregalar ile hazırlanan beton karışımları üzerinde araştırılması, farklı beyaz çimento dozajlarının yüksek sıcaklık etkisinde

davranışının belirlenmesi veya beyaz çimento ile üretilen harçların yüksek sıcaklıklar altında incelenmesi beyaz çimento-yüksek sıcaklık ilişkisindeki literatürün genişletilmesi açısından faydalı olacağı düşünülmektedir.

Kaynakça

- [1] Karagüler, M. E. 2014. Mimari Beton Uygulamaları, Hazır Beton Dergisi, Eylül-Ekim, 73-83.
- [2] Kırca, Ö., Şahin, M. 2004. Hazır Beyaz Beton ve Uygulamaları, Beton 2004 Hazır Beton Kongresi, 10-12 Haziran, İstanbul, 554-563.
- [3] Uysal, M., Mercan, N., Yılmaz, K. 2011. Farklı Dozlarda Üretilen Beyaz Betonların Basınç Dayanımına Farklı Kür Şartlarının Etkisi, SAÜ. Fen Bilimleri Dergisi, 15(2), 139-145.
- [4] Arslan, M., Özbek, H., Açık, H. 2011. Betonarme Yapılar İçin Beyaz Çimentolu Hazır Betonun Tasarımı ve Üretimi, Beton 2011 Hazır Beton Kongresi, 20-22 Ekim, İstanbul, 459-469.
- [5] Butcher, E.G., Parnell, A.C. 1989. Designing For Fire Safety, John Wiley and Sons Ltd., New York, 80-85s.
- [6] Cree, D., Green, M., Noumowe, A. 2013. Residual Strength Of Concrete Containing Recycled Materials After Exposure To Fire: A Review, Construction and Building Materials 45, 208-223.
- [7] Gökçer, B., Yıldız, S., Keleştemur, O. 2013. Atık Mermer Tozu Ve Cam Lif Katkılı Harç Numunelerinin Yüksek Sıcaklık Altındaki Davranışları, SDU International Technologic Science, 5(2), 42-55.
- [8] Karakoç, M. B. 2013. Effect Of Cooling Regimes On Compressive Strength Of Concrete With Lightweight Aggregate Exposed To High Temperature, Construction and Building Materials 41, 21-25.
- [9] ÇİMSA. (2014). Süper Beyaz. <https://www.cimsa.com.tr/beyaz-cimento> (Erişim tarihi: 07.10.2014).
- [10] TS EN 934-2. 2011. Kimyasal Katkılar- Beton, Harç ve Şerbet için- Bölüm 2: Beton Kimyasal Katkıları-Tarifler, Gereklere, Uygunluk, İşaretleme ve Etiketleme, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [11] TS 3530 EN 933-1. 1999. Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 1: Tane Büyüklüğü Dağılımı Tayini - Eleme Metodu, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [12] TS 3529. 1980. Beton Agregalarının Birim Ağırlıklarının Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [13] TS EN 1097-6. 2002. Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 6: Tane Yoğunluğu ve Su Emme Oranının Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [14] TS 802. 1985. Beton Karışımı Hesap Esasları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [15] TS EN 206-1. 2002. Beton- Bölüm 1: Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [16] TS 1247. 1984. Beton Yapım, Döküm Ve Bakım Kuralları (Normal Hava Koşullarında), Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [17] TS EN 12504-1. 2011. Beton-Yapıda Beton Deneyleri-Bölüm 1: Karot Numuneler-Karot alma, Muayene ve Basınç Dayanımı Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [18] ASTM C 597. 2002. Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete, ASTM International.
- [19] TS EN 12390-3. 2003. Beton - Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 3: Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [20] Şimşek, O., 2010. Beton Bileşenleri ve Beton Deneyleri, 3. Baskı, Seçkin Yayıncılık, Ankara, 304s.
- [21] Durmuş, G., Bekem İ. 2010. Yüksek Sıcaklığın ve Farklı Soğutma Koşulunun Kalker Agregalı betonlar Üzerindeki etkilerinin araştırılması, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 25(4), 741-748.

Tablo Listesi

Tablo 1. Beyaz çimentoya ait kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikler

Kimyasal özellik	Değer, %	Fiziksel özellik	Değer
Çözünmeyen kalıntı	0,18	Özgül ağırlık, gr/cm ³	3,06
SiO ₂	21,60	Özgül yüzey, cm ² /gr	4600
Al ₂ O ₃	4,05	Beyazlık	0,86
Fe ₂ O ₃	0,26	Priz başlangıcı, dk	100
CaO	65,70	Priz sonu, dk	130
MgO	1,30	Hacim sabitliği, mm	1,00
SO ₃	3,30	Mekanik özellik	Değer, N/mm ²
Kızdırma kaybı	3,20	2. gün basınç dayanımı	37,00
Na ₂ O	0,30	7. gün basınç dayanımı	50,00
K ₂ O	0,35	28. gün basınç dayanımı	60,00
Klorür	0,01		
Serbest CaO	1,60		

Tablo 2. Süperakışkanlaştırıcı beton katkısına ait özellikler

Özellik	Değer
Kimyasal içeriği	Modifiye naftalin sülfonat ve polimer esası
Yoğunluk	1,18 kg/l
pH değeri	7.55
Klor içeriği (TS EN 480-10)	< % 0.1
Alkali içeriği (TS EN 480-12)	< % 7
Donma noktası	-5 °C

Tablo 3. Agrega gruplarına ait tane yoğunlukları ve su emme miktarları

Özellik	Agrega grubu	Değer
Tane yoğunluğu, g/cm ³	0-4 mm	2,72
	4-8 mm	2,72
	8-16 mm	2,74
Su emme oranı, %	0-4 mm	1,43
	4-8 mm	0,96
	8-16 mm	0,74

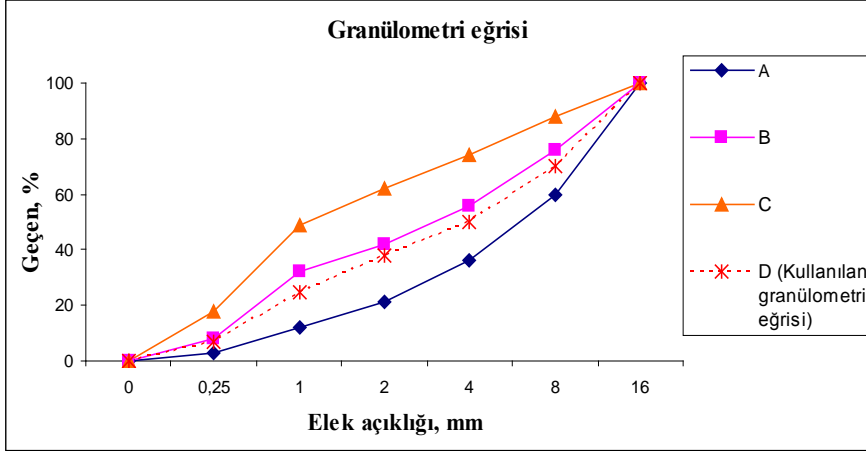
Tablo 4. 1 m³ beton karışımına giren malzemeler

Çimento	Su	0-4 mm	4-8 mm	8-18 mm	Katkı maddesi
300 kg	180 lt	897 kg	441 kg	573 kg	3 lt

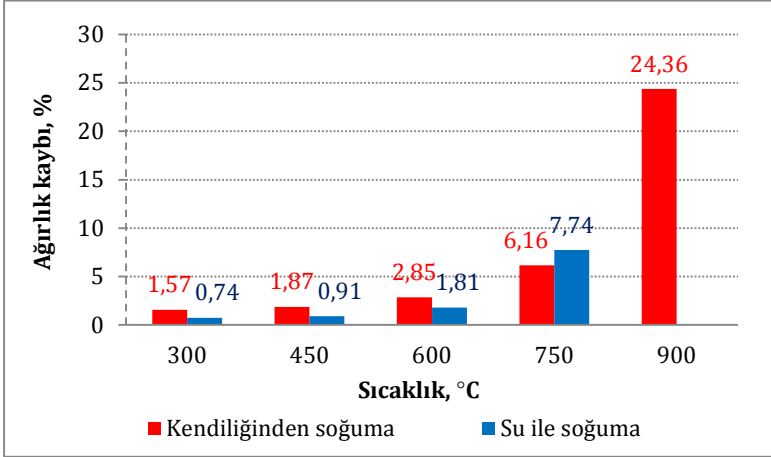
Tablo 5. Ses hızı ile beton kalitesinin tahmin edilmesi

Ses hızı (V) km/s	Beton kalitesi
>4,5	Mükemmel
3,5-4,5	İyi
3,0-3,5	Şüpheli
2,0-3,0	Zayıf
<2,0	Çok zayıf

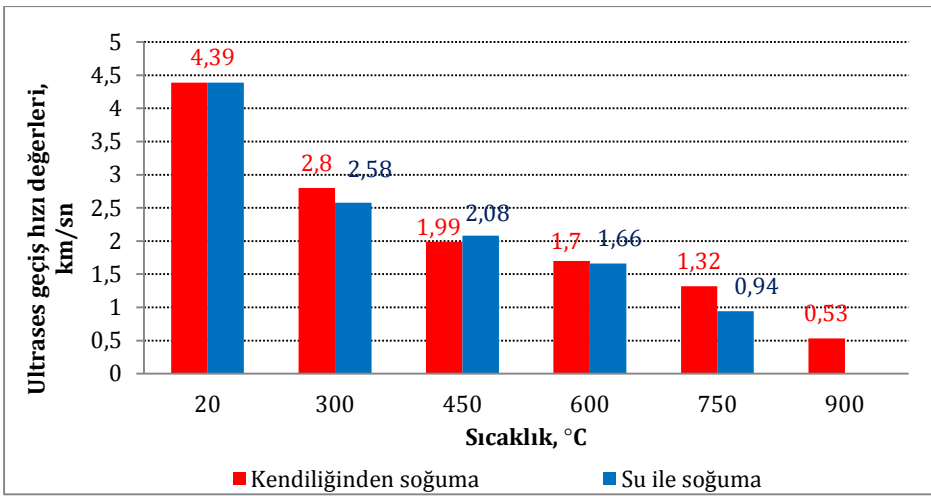
Şekil Listesi



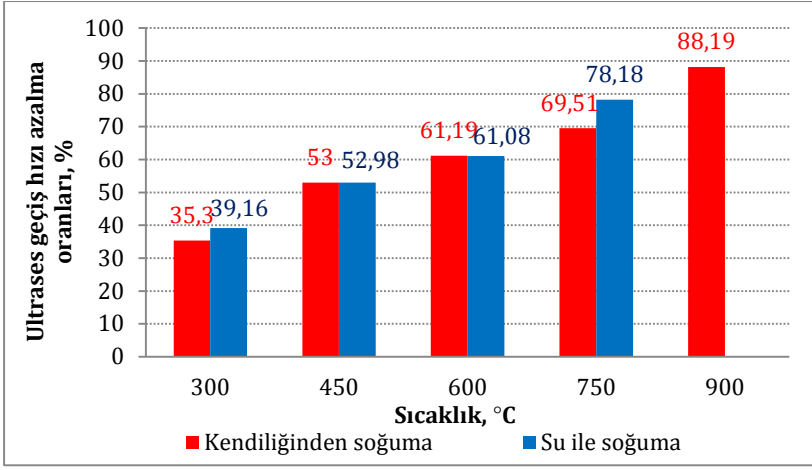
Şekil 1. Deneysel granülometri eğrisi



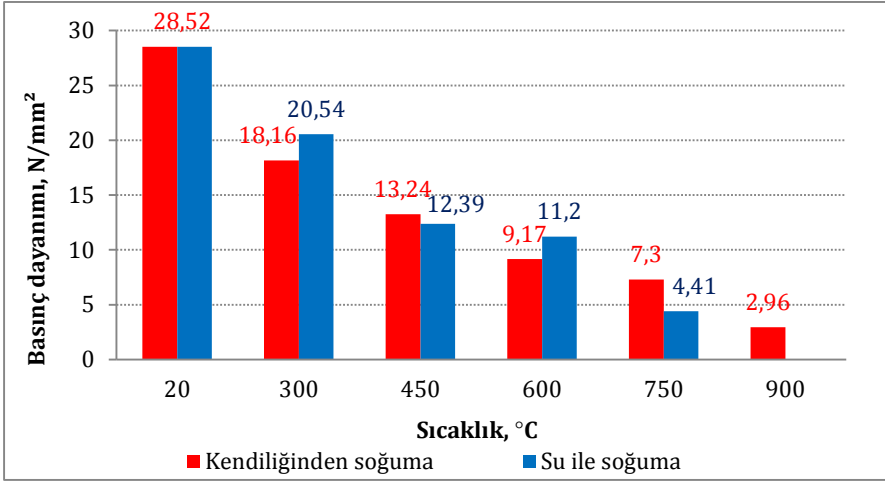
Şekil 2. Yüksek sıcaklık ve soğutma şartları uygulanmış beyaz çimentolu betonların ağırlık kayıpları, %



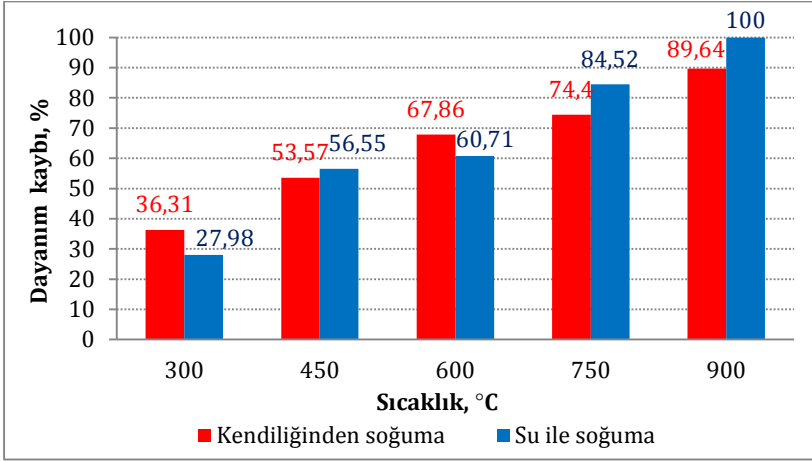
Şekil 3. Yüksek sıcaklık ve soğutma şartları uygulanmış beyaz çimentolu betonların ultrases geçiş hızı değerleri, km/sn



Şekil 4. Ultrases geçiş hızı azalma oranları, %



Şekil 5. Yüksek sıcaklık ve soğutma şartları uygulanmış beyaz çimentolu betonların basınç dayanımı değerleri



Şekil 6. Basınç dayanım kaybı oranları