



GERİ DÖNÜŞTÜRÜLMÜŞ BETON AGREGASI KULLANILARAK ÜRETİLEN HARÇLARDA YÜKSEK SICAKLIK ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Emriye ÇINAR RESULOĞULLARI¹, Behçet DÜNDAR², Tayfun UYGUNOĞLU^{3*}

^{1,2} Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Osmaniye, Türkiye

³ Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar, Türkiye

Anahtar Kelimeler	Öz
<i>Harç, Yüksek Sıcaklık, Beton Atığı, Geri Dönüştürülmüş Agregası, Sürdürülebilirlik.</i>	Bu çalışmada, Geri Dönüştürülmüş Beton Agregasının (GDA) harç numunelerinde kullanımı ve yüksek sıcaklık altında harçlara etkisi araştırılmıştır. Harç numuneleri 40x40x160 mm boyutlarında üretilmiştir. İnce agregası haline getirilen GDA, harç üretiminde kullanılan kırma kum ile %25, %50 %75 ve %100 oranlarında yer değiştirme yapılmıştır. Harç numuneler 28 gün standart kür sonunda 200, 400, 600 ve 800 °C sıcaklıklara maruz bırakılmıştır. Uygulanan sıcaklık sonrası ultrases geçiş hızı, ağırlık kayıpları, eğilme ve basınç dayanımları belirlenmiştir. GDA'nın artmasıyla birlikte harçların fiziksel ve mekanik özelliklerinde azalmalar meydana gelmiştir. Sıcaklığın artmasıyla birlikte de ultrases geçiş hızı, basınç ve eğilme dayanımlarında azalma görülmüştür.

INVESTIGATION OF THE HIGH TEMPERATURE EFFECT ON MORTARS PRODUCED BY USING RECYCLED CONCRETE AGGREGATE

Keywords	Abstract
<i>Mortar, High Temperature, Concrete Waste, Recycled Aggregate, Sustainability.</i>	In this study, the use of Recycled Concrete Aggregate (RCA) in mortar samples and their effects on mortars under high temperature were investigated. Mortar samples were produced in the dimensions of 40x40x160 mm. GDA, which has been converted into fine aggregate, has been replaced with 25%, 50% 75% and 100% of the sand used in mortar production. Mortar samples were exposed to 200, 400, 600 and 800 °C after 28 days of standard curing. After the applied temperature, ultrasonic pulse velocity, weight losses, flexural and compressive strengths were determined. With the increase of RCA, there was a decrease in the physical and mechanical properties of the mortars. Along with the increase in temperature, ultrasonic pulse velocity, compressive and flexural strengths were also decreased.

Alıntı / Cite

Çınar Resuloğulları, E., Dündar, B., Uygunoğlu, T., (2021). Geri Dönüştürülmüş Beton Agregası Kullanılarak Üretilen Harçlarda Yüksek Sıcaklık Etkisinin Araştırılması, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9(1), 108-115.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

E. Çınar Resuloğulları, 0000-0002-9435-2968
B. Dündar, 0000-0003-0724-9469
T. Uygunoğlu, 0000-0003-4382-8257

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	29.03.2020
Revizyon Tarihi / Revision Date	03.01.2021
Kabul Tarihi / Accepted Date	24.01.2021
Yayın Tarihi / Published Date	30.03.2021

1. Giriş (Introduction)

Doğal agregası yerine kullanılan yan ürünlerin betona katılması, atık üretiminin artması nedeniyle farklı endüstriyel süreçlerdeki etkileri en aza indirmek için geçerli bir stratejidir (Meng vd., 2018). Agregaların çeşitli geri dönüştürülmüş malzemelerle değiştirilmesi, inşaat sektöründe önemli ilerlemelere yol açarak yeni doğal agregası üretim ihtiyacını azaltmıştır. Doğal agregasıya alternatif olarak kullanılan malzemeler arasında geri dönüştürülmüş beton, geri dönüştürülmüş cam, hurda lastikler, kağıt ve diğer endüstrilerin plastikleri ve yan ürünleri bulunmaktadır (Topçu ve Canbaz, 2004; Han vd., 2018). Moloz olarak adlandırılan inşaat atıkları, yeniden modelleme ve onarım benzeri sebeplerden dolayı planlı yıkılması ile meydana gelebileceği gibi deprem benzeri doğal afetler sonucunda yıkılması da meydana gelebilir (Valadares vd., 2012). Betondan yapılan yapılar

* İlgili yazar / Corresponding author: uygunoğlu@aku.edu.tr, +90-272-228-1423

yıkıldığında veya yenilediğinde, betonun geri dönüşümü molozun bertaraf edilmesi de giderek yaygınlaşan bir yöntemdir (Gaikwad vd., 2018; Yu vd., 2019). Daha önceleri atık depolama alanlarına taşınan beton atıkları depolama alanlarındaki yetersizlikler ve verimli sahaların tahribatları gibi nedenlerle çevre bilincinin artmasıyla bu atıkların geri dönüşüm işlemi ile yeniden kullanılması daha cazip bir seçenek haline gelmiştir (Teixeira vd., 2019). Doğal agregalar yerine kullanılmaya başlanan geri dönüştürülmüş beton agregaları üretmek için atık betonun mekanik olarak kırılıp agrega boyutlarına getirilmesi pratik bir endüstriyel çözümdür (Fathifazl vd., 2011; Medina vd., 2014). Birçok ülkede yapısal taşıyıcı elemanlarda kullanımı için geri dönüştürülmüş beton agregasının tasarımını, üretimini ve yapımını düzenlemek için birtakım öneriler verilmiştir. Bu alanda, atık betonların geri dönüşümünü teşvik eden ve katı atık emisyonlarını azaltmayı amaçlayan birçok bilimsel araştırmalar yapılmıştır (Wang ve Xiao, 2018; ACI 555-R01, 2001; Jiang vd., 2020; Mostofinejad vd., 2020; Wang vd., 2018). Çevre dostu bir malzeme olarak geri dönüştürülmüş beton agregalarının değerlendirilmesi halen araştırılmaktadır.

Çimento esaslı harçlar inorganik malzemeler olmasına rağmen, çatlak gelişimi ve kimyasal bileşimi nedeniyle morfolojik yapıları fiziksel etkiler altında, örneğin bir yangının neden olduğu çok yüksek sıcaklıklara maruz kaldıktan sonra, önemli ölçüde değişir (Arioz, 2007). Çimento esaslı harçlar yüksek sıcaklıklara maruz bırakıldığında, gözenek basıncı, termal uyumsuzluklar ve hidrasyon ürünlerinin ayrışması olmak üzere üç ana mekanizma meydana gelmektedir (Xuan ve Shui, 2010). İlk iki mekanizma agregalar ve çimento hamuru arasındaki uyumsuzluk ile ilgilidir (Chan vd., 2000). Bu nedenle, betonda agrega türünün değiştirilmesi bu iki mekanizma üzerinde önemli bir etkiye sahip olabilir. Normal Portland çimentosu ile yapılmış bir kompozitte, yaklaşık 150 °C üzerindeki sıcaklıklarda kılcal boşluk ve daha sonra jel boşluklarda bulunan su buharlaşarak malzeme bünyesinden uzaklaşır ve büzülme oluşur. Daha sonra kompozit iç yapısında görülmeye başlayan çatlaklar nedeniyle çekme dayanımı azalır. Sıcaklık 300 °C'ye ulaştığında kompozitteki alüminli ve demir oksitli bileşenlerin dehidratasyonu sonucunda basınç dayanımı da düşer. Sıcaklık 400 °C'ye arttırıldığında portlandit (Ca(OH)₂) sıcaklığın etkisiyle suyunu kaybederek kirece (CaO) dönüşür. Bu sırada hacminde yaklaşık %30 civarında büzülme görülür. 500 °C civarında tobermorit jelleri de deforme olmaya başlar, 600 - 800 °C aşıldığında tüm hidrasyon ürünleri hasara uğramaktadır. Bu sıcaklıklarda beton elemanlar dayanımının yaklaşık %70'ini de kaybetmektedirler (Xing vd., 2011; Biolzi vd., 2008). Betonda kullanılan bileşen malzemeler de betonun yüksek sıcaklık etkisi altındaki dayanımını büyük ölçüde etkilemektedir. Literatürdeki çalışmalar genelde normal ve yüksek dayanımlı betonlarda geri dönüştürülmüş beton agregasının (GDA) kullanımı sonucunda yüksek sıcaklık altındaki etkisi incelenmiştir. GDA içeren harçların yüksek sıcaklık altındaki özellikleri detaylı incelenmedi gözlenmiştir. Dolayısıyla, bu çalışmanın amacı, geri dönüştürülmüş beton agregasının (GDA) harç numunelerinde kullanımı sonucunda yüksek sıcaklık altında harçların bazı karakteristik özelliklerine etkisinin araştırılmasıdır. Bu amaç doğrultusunda 0-4 mm tane büyüklüğüne getirilen GDA harç üretiminde kullanılan kırma kum ile %25, %50 %75 ve %100 oranlarında yer değiştirme yapılarak kullanılmıştır. Harç numuneleri 28 gün kür sonunda 200, 400, 600 ve 800 °C sıcaklıklara maruz bırakılmıştır. Uygulanan sıcaklık sonrası harçların fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiştir.

2. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

2.1. Malzeme (Material)

Deney numunelerinin üretilmesinde kullanılan harcın bileşenleri arasında yer alan çimento, TS EN 197-1 (2012)'e uygun olarak üretilen CEM I 42,5 R tipi Portland çimentosudur. Kullanılan çimentonun kimyasal analizi, üretici fabrikadan alınmış olup Tablo 1'de verilmiştir. Deneysel çalışmada, TS EN 1008 (2003)'e uygun olan Osmaniye ili, şehir şebeke suyu kullanılmıştır. Çalışma kapsamında üretilen harç numunelerinde agrega olarak kırma kum ve geri dönüştürülmüş beton agregası (GDA) kullanılmıştır. Osmaniye Belediyesinden temin edilen değişik tane boyutlarına sahip beton atıkları, kırıcılar yardımıyla kırma kum gibi 0-4 mm tane boyuta sahip agrega haline getirilmiştir. Geri dönüştürülmüş beton agregasının görünümü Şekil 1'de verilmiştir. Elde edilen geri dönüştürülmüş beton agregasının incelik modülü 3,82 özgül ağırlığı 2,42 gr/cm³ olarak belirlenmiştir.

Tablo 1. CEM I 42,5 R Portland çimentosunun kimyasal ve fiziksel analizi (Chemical and physical analysis of CEM I 42,5 R Portland cement)

Kimyasal Analiz	CEM I 42,5 (%)
CaO	62,72
SiO ₂	20,00
Al ₂ O ₃	4,92
Fe ₂ O ₃	3,76
MgO	1,84
SO ₃	2,65
K ₂ O	0,73
Na ₂ O	0,26
Kızdırma Kaydı	2,54



Şekil 1. Beton atığı ve geri dönüştürülmüş beton agregası (Concrete waste and recycled concrete aggregate)

2.2. Yöntem (Method)

Deneyisel çalışmada üretilen tüm numunelerde standart karışım kullanılmış olup, bağlayıcı ve su içeriği sabit tutulmuştur. Referans numune agregası tamamen kırma kumdan, çimento ve su karışımından meydana gelmektedir. Diğer numunelerde GDA ağırlıkça kırma kum ile %25, %50, %75 ve %100 oranlarında yer değiştirme yapılmıştır. Harçların üretimlerinde kullanılan malzeme miktarları Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Harç üretiminde kullanılan malzeme miktarları (kg/m³)
(Amounts of materials used in mortar production (kg/m³))

GDA oranı	Kırma Kum	GDA	Çimento	Su
%0	1350	0	450	225
%25	1012,5	337,5	450	225
%50	675	675	450	225
%75	337,5	1012,5	450	225
%100	0	1350	450	225

Harç karışımı yapıldıktan sonra 40x40x160 mm boyutlarındaki kalıplara çimento sarsma masasında iki aşamada dökülmüş ve yerleştirilmiştir. Bir gün sonra kalıptan alınan numuneler su içerisinde standart kür işlemine tabi tutulmuşlardır. GDA'nın harç numunelerde yüksek sıcaklığa maruz kalmaları durumunda etkisinin ortaya konması amacıyla harçlara belirli derecelerde yüksek sıcaklıklar uygulanmıştır. Yüksek sıcaklık uygulaması, harç numunelere 1800 °C kapasiteli laboratuvar tipi kül fırınında, 10 °C/dk sıcaklık artış hızı olacak şekilde 200 °C, 400 °C, 600 °C ve 800 °C sıcaklıklara maruz bırakılarak gerçekleştirilmiştir. Bütün sıcaklık değerlerinde 60 dk. fırın içerisinde bekletilmişlerdir. Yüksek sıcaklık uygulaması sona erdikten sonra, numuneleri aşırı sıcaklık etkisine maruz bırakmamak için doğrudan fırından çıkarılmamıştır. Fırın sıcaklığı, laboratuvar ortamının sıcaklığına gelinceye kadar numuneler fırın içerisinde soğumaya bırakılmıştır. Yüksek sıcaklığa maruz bırakılan ve bırakılmayan harç numunelerine, TS EN 196-1 (2016) standardına uygun üç noktalı eğilme deneyine tabi tutularak eğilme dayanımı ve TS EN 12390-4 (2002) standardına uygun basınç dayanımı tayin edilmiştir. Numunelerinin ultrases geçiş hızı ölçümü TS EN 12504-4 (2012)'e göre yapılmıştır. Problar arası mesafe ve kayıt aldığımız ses geçiş hızı yardımı ile Eşitsizlik (1)'de gerekli hesaplamalar yapılarak ultrases geçiş hızları hesaplanmıştır.

$$V(m/s) = X(m) / t(s) \quad (1)$$

Eşitsizlik (1)'te belirtilen kavramlar; V(m/s): Ultrases geçiş hızı, X(m): Ses dalgasının aldığı yol, t(s): Ses dalgasının geçiş süresi

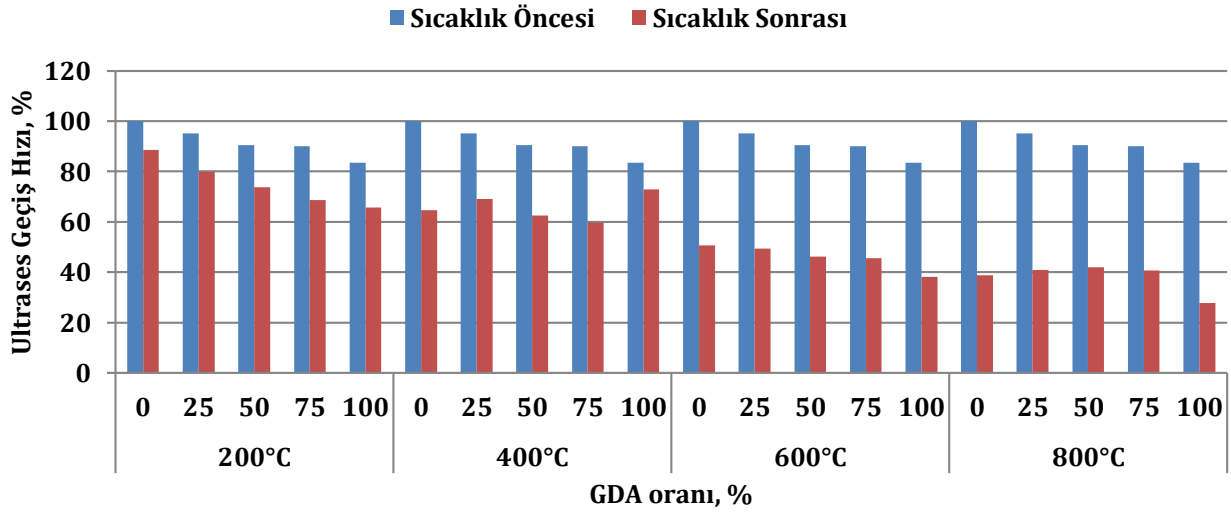
3. Deneyisel Sonuçlar (Experimental Results)

Harç numunelerinin ultrases geçiş hızları Tablo 3'te bağıl olarak yüzdeleri Şekil 2'de verilmiştir. Harçlarda kullanılan GDA oranının artmasıyla birlikte ultrases geçiş hızları azalmaktadır. Ortam sıcaklığındaki referans numunede ultrases geçiş hızı 3663 m/s iken GDA oranının %100'e çıkması durumunda 2717 m/s değerine düştüğü görülmüştür. GDA oranının artışı ile birlikte Ultrases geçiş hızında azalma meydana gelmiştir. Bunun başlıca nedeni, sesin GDA artışına bağlı olarak daha uzun sürede geçmesinden kaynaklanmaktadır. Diğer bir ifadeyle, harç içerisinde GDA kullanım oranına bağlı olarak boşluk oranının arttığı anlaşılmaktadır. Önceki çalışmalar, GDA yüzeyine yapışan harcın mekanik yüklemeye altında geri dönüştürülmüş agregaların düşük

direncinden sorumlu olduğunu göstermiştir. Bu düşük özelliklerin arkasındaki temel nedenler, beton gözeneklilik artışı ve agregalar ile bağlayıcı matris arasındaki zayıf ara yüzey bağlanmasıdır (Kwan vd., 2012; Nagataki vd., 2004). Ultrases geçiş hızı değerleri yüksek sıcaklık etkisinin artışıyla birlikte de önemli derecede azalmıştır.

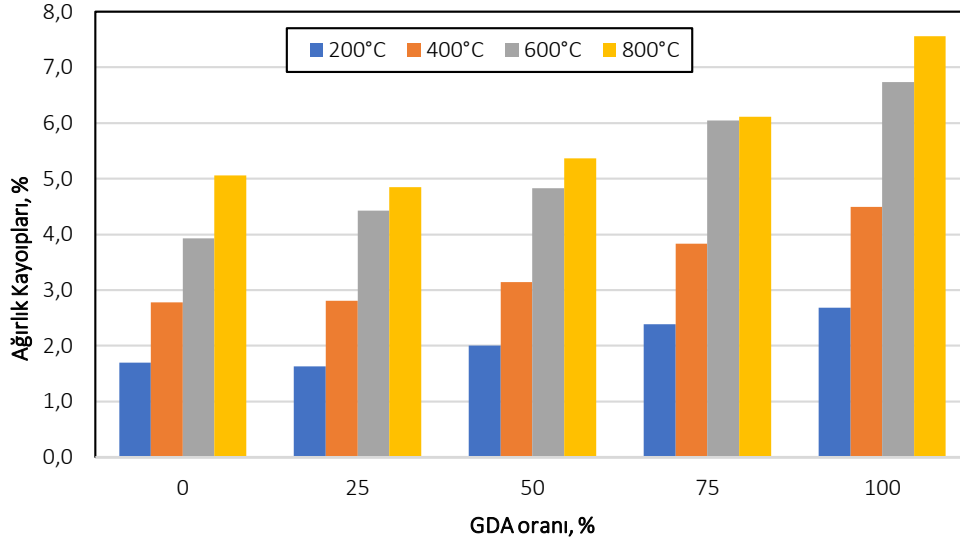
Tablo 3. Harç numunelerinin Ultrases geçiş hızları (m/s)
(Table 3. Ultrasound transition rates of mortar samples (m/s))

GDA Oranı, %	Ultrases Geçiş Hızı, m/s				
	20°C	200°C	400°C	600°C	800°C
0	3906	3462	2524	1982	1518
25	3713	3124	2702	1926	1596
50	3538	2880	2442	1807	1638
75	3517	2680	2331	1778	1594
100	3259	2563	2850	1490	1082



Şekil 2. Harç numunelerinin bağıl ultrases geçiş hızı yüzdeleri (Relative ultrasound transition rate percentages of mortar samples)

Yüksek sıcaklık uygulandıktan sonra numunelerin ağırlık kayıpları Şekil 3'de verilmiştir. Sıcaklığın artmasıyla birlikte ağırlık kayıplarının arttığı gözlemlenmiştir. Referans numunede 200 °C'de %1.69 ağırlık kaybı meydana gelir iken sıcaklığın 800 °C'ye çıkmasıyla birlikte ağırlık kaybının %5.06'ya çıktığı gözlemlenmiştir. GDA'nın %25 oranında kullanılması ile ağırlık kayıplarında azalma gözlemlenmiştir, GDA oranının artmasıyla birlikte ağırlık kayıplarının da arttığı gözlemlenmiştir. Sıcaklığın 200 °C olması durumunda GDA kullanılmayan harç numunesinde ağırlık kaybı %1.69 iken %25 oranında GDA kullanılan harç numunesinde %1.60 değerine düştüğü görülürken, GDA oranının %50, %75 ve %100 kullanılmasıyla sırasıyla %2.0, %2.39 ve %2.68 oranına yükseldiği görülmüştür. Sıcaklık 800 °C'ye çıktığında ise GDA kullanılmayan harç numunede ağırlık kaybı %5.06 iken %25 oranında GDA kullanılan harç numunesinde % 4.84 değerine düştüğü görülürken, GDA oranının %50, %75 ve %100 kullanılmasıyla sırasıyla %5.36, %6.11 ve %7.56 oranına yükseldiği görülmüştür.

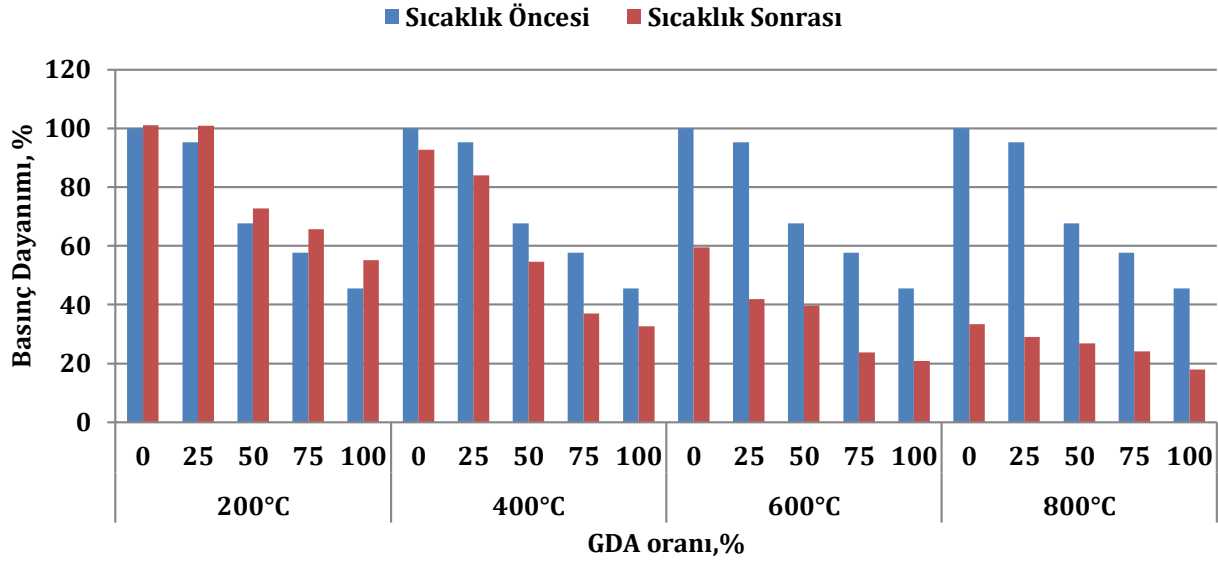


Şekil 3. Harç numunelerinin sıcaklık sonrası ağırlık kayıpları (Weight loss of mortar samples after temperature)

GDA içeren harç numunelerin sıcaklık öncesi ve sonrası basınç dayanımları Tablo 4'te bağıl olarak yüzdeleri Şekil 4'te verilmiştir. Sıcaklık öncesi değerler incelendiğinde, GDA kullanılmayan harç numunelerinde basınç dayanımı 44.5 MPa iken GDA'nın %25, %50, %75 ve %100 kullanılması durumunda basınç dayanımları sırasıyla 42.30 MPa, 30.11 MPa, 25.63 MPa ve 20.23 MPa olarak belirlenmiştir. Dolayısıyla, GDA kullanımıyla harçların basınç dayanımları sırasıyla %4.5, %32, %42 ve %54.5 oranında azalma olmuştur. Bunun nedeni, GDA'nın kırılarak elde edilmesi sırasında GDA yüzeylerindeki matris fazın zayıflaması ve yeni hamur içerisinde bu bölgelerin nispeten daha kolay kırılması nedeniyle aderans dayanımını ve sonuçta harcın basınç dayanımını azaltmasıdır (Uygunoğlu vd., 2014). Harçlara yüksek sıcaklık uygulanması sonucunda da basınç dayanımlarında önemli derecede azalma görülmüştür. Bununla birlikte, sıcaklığın 200 °C'ye ulaşmasıyla birlikte harçların basınç dayanımlarında artış görülmüştür. Bu durum 200 °C civarında çimento hamurunun serbest suyun buharlaşmasından kaynaklı büzülmesi ve buna bağlı olarak da dayanımın bir miktar artmasını sağlamasından dolayı oluşmaktadır (Uysal, 2004). Sıcaklığın daha fazla artmasıyla jel suyunun kaybı ile oluşacak büzülme betonun dayanımını arttırdığı gibi beton içinde beliren buhar basıncı, beton örtüsünün çatlamasına ve parçalanarak kopmasına yol açabilir. GDA kullanımı ile boşluk oranı artışı nedeniyle 200 °C'de meydana gelen basınç dayanımlarında referansa oranla arttırdığı görülmüştür. Daha sonra sıcaklığın daha da artırılmasıyla basınç değerleri azalma eğilimine geçmiştir. Ortam sıcaklığındaki numunelerle karşılaştırıldığında; referans numunesinde 400 °C'de %7.33, 600 °C'de %40.61, ve 800 °C'de %66.77 oranında azalma meydana gelmiştir. %25 GDA içeren numunelerde 400 °C'de %11.75, 600 °C'de %56.04 ve 800 °C'de %69.59 oranında azalma meydana gelmiştir. %50 GDA içeren numunelerde 400 °C'de %17.17, 600 °C'de %41.43 ve 800 °C'de %62.47 oranında azalma meydana gelmiştir. %75 GDA içeren numunelerde 400 °C'de %36.83, 600 °C'de %42.09 ve 800 °C'de %58.51 oranında azalma meydana gelmiştir. %100 GDA içeren numunelerde 400 °C'de %47.10, 600 °C'de %53.63 ve 800 °C'de %40.52 oranında azalma meydana gelmiştir. Çimento hamurunda C-S-H yanında bulunan diğer bileşen de Ca(OH)₂ (kalsiyum hidroksit)'dir. C-S-H'in kimyasal suyu ve jel suyu 300 °C den itibaren kaybolmaya başlar ve 530 °C civarında Ca(OH)₂ suyunu kaybederek CaO'de dönüşür (Khoury, 1996). Bazı sıcaklıklarda ortaya çıkan hasarlar betonların dayanımlarının büyük oranda düşmesine sebep olurlar (Poon vd, 2001).

Tablo 4. Harç numunelerinin yüksek sıcaklıklarda basınç dayanımları (MPa)
(Compressive strength of mortar samples at high temperatures (MPa))

GDA Oranı, %	Basınç Dayanımı, Mpa				
	20°C	200°C	400°C	600°C	800°C
0	44,5	45	41,255	26,5	14,85
25	42,36	44,89	37,38	18,62	12,88
50	30,11	32,38	24,29	17,635	11,9
75	25,63	29,23	16,5	10,6	10,71
100	20,23	24,5	14,54	9,28	7,98

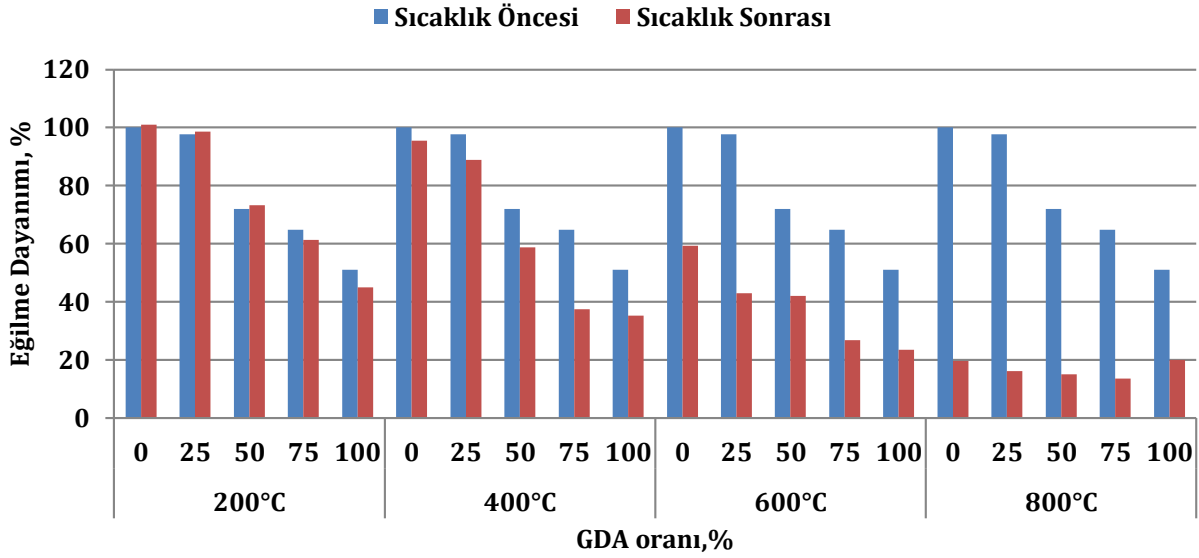


Şekil 4. Harç numunelerinin sıcaklık öncesi ve sonrası bağıl basınç dayanımı yüzdeleri (Relative compressive strength percentages of mortar samples before and after temperature)

GDA içeren harç numunelerinin sıcaklık öncesi ve sonrası eğilme dayanımları Tablo 5'te bağıl olarak yüzdeleri Şekil 5'te verilmiştir. GDA kullanılan harç numunelerinde eğilme dayanımlarında da basınç dayanımlarına benzer davranışlar gözlenmiştir. Sıcaklık öncesi eğilme dayanımı 7.43 MPa iken GDA'nın %25, %50, %75 ve %100 kullanılması durumunda basınç dayanımları sırasıyla 7.26 MPa, 5.35 MPa, 4.82 MPa ve 3.79 MPa olarak belirlenmiştir. Eğilme dayanımları da ortam sıcaklığındaki serilerin değerleriyle karşılaştırıldığında; referans numunesinde 200 °C'de eğilme dayanımında artış meydana gelirken, 400 °C'de %4.64, 600 °C'de %40.64, ve 800 °C'de %80.34 oranında azalma meydana gelmiştir. %25 GDA içeren numunelerde 200 °C'de eğilme dayanımında artış meydana gelirken, 400 °C'de %8.95, 600 °C'de %56.04 ve 800 °C'de %83.47 oranında azalma meydana gelmiştir. %50 GDA içeren numunelerde 200 °C'de eğilme dayanımında artış meydana gelirken, 400 °C'de %18.50, 600 °C'de %35.06 ve 800 °C'de %79.06 oranında azalma meydana gelmiştir. %75 GDA içeren numunelerde 200 °C'de %5.39, 400 °C'de %42.11, 600 °C'de %54.71 ve 800 °C'de %79.04 oranında azalma meydana gelmiştir. %100 GDA içeren numunelerde 200 °C'de %11.60, 400 °C'de %30.87, 600 °C'de %53.82 ve 800 °C'de %87.07 oranında azalma meydana gelmiştir.

Tablo 5. Harç numunelerinin yüksek sıcaklıklarda eğilme dayanımları (MPa)
(Flexural strength of mortar samples at high temperatures (MPa))

GDA Oranı, %	Eğilme Dayanımı, Mpa				
	20°C	200°C	400°C	600°C	800°C
0	7,43	7,5	7,1	4,41	1,46
25	7,26	7,33	6,61	3,19	1,2
50	5,35	5,45	4,36	3,13	1,12
75	4,82	4,56	2,79	1,99	1,01
100	3,79	3,35	2,62	1,75	1,49



Şekil 5. Harç numunelerinin sıcaklık öncesi ve sonrası bağıl basınç dayanımı yüzdeleri (Relative flexural strength percentages of mortar samples before and after temperature)

4. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Çalışma boyunca yürütülen deney ve analizlerden elde edilen bulgular aşağıda sunulmuştur.

- ✓ GDA oranının artmasıyla birlikte ultrases geçiş hızları azalmaktadır. GDA oranı ile birlikte boşluk oranının artması sesin boşlukta daha uzun sürede geçtiğinden kaynaklı hızlarda azalma meydana gelmiştir. Kırma kum ile kıyaslandığında da GDA'nın daha boşluklu yapıda olduğu ve ses geçiş süresini arttırarak hızı düşürdüğü görülmüştür.
- ✓ Tüm harç numunelerinde sıcaklığın artması ile birlikte ağırlık kayıplarında artışlar gözlemlenmiştir.
- ✓ Yüksek sıcaklık uygulamalarında GDA'nın %25 oranında kullanılması ile ağırlık kayıplarında azalma gözlemlenirken, GDA oranının artmasıyla birlikte ağırlık kayıplarının da arttığı gözlemlenmiştir.
- ✓ GDA kullanılmayan harç numunelerinde eğilme ve basınç dayanımları GDA oranının artmasıyla birlikte azalma göstermektedir. Ancak %25 oranında kullanıldığında eğilme dayanımında %2.29 oranında, basınç dayanımında ise %4.5 oranında dayanım kaybı meydana gelmektedir.
- ✓ Harçlara yüksek sıcaklık uygulanmasıyla birlikte tüm serilerde sıcaklığın etkisiyle hem basınç hem de eğilme dayanımlarında azalmalar görülmüştür. GDA'nın %25 ve %50 oranlarında kullanılması ile 200 °C'ye kadar dayanımlarda artış gözlemlenmiştir. GDA oranının %25 ve %50 kullanılması durumunda tüm sıcaklık değerlerinde sıcaklık öncesi dayanım değerlerine göre önemli bir dayanım kaybı oluşturmadıkları belirlenmiştir.

Sonuç olarak, GDA'nın çimento esaslı harçlarda agrega olarak %25-50 arasında dayanımları ihmal edilebilir derecede azaltmadığı görülmüştür. Ancak GDA oranının %25'in üzerine çıkması durumunda fiziksel ve mekanik özelliklerde kayıp yaşanmaktadır. Yüksek sıcaklık etkisinde ise bu oranın %50'nin üzerine çıkması durumunda dayanıklılığın azaldığı görülmüştür. Harç üretiminde %25 oranında GDA kullanımı ile mekanik dayanımında düşük kayıplar yaşansa da sıcaklık etkisi altında göstermiş olduğu performans nedeni ile yüksek sıcaklık dayanımı arttırmak için kullanılabilirliği gözlemlenmiştir. Harçlarda GDA kullanımı için hem fiziksel ve mekanik özellikler hem de yüksek sıcaklık etkisi göz önünde bulundurularak %25 oranı önerilmektedir. Böylece inşaat yıkıntı atıklarının çevreye vereceği kirlilik ve zarar da kullanım oranına bağlı olarak azaltılmış olacaktır.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar (References)

- American Concrete Institute (ACI) Committee, ACI 555-R01, 2001. Removal and Reuse of Hardened Concrete, ACI, Farmington Hills (MI).
- Arioz, O., 2007, Effects of elevated temperatures on properties of concrete, Fire Saf. J. 42, 516-522.

- Biolzi, L., Cattaneo, S., Rosati, G., 2008. Evaluating residual properties of thermally damaged concrete, *Cement Concr. Compos.* 30, 907–916.
- Chan, Y.N., Luo, X., Sun, W., 2000. Compressive strength and pore structure of high performance concrete after exposure to high temperature up to 800 °C, *Cement Concr. Res.* 30, 247–251.
- Fathifazl, G., Razaqpur, A.G., Isgor, O.B., Abbas, A., Fournier, B. and Foo, S., 2011. Creep and drying shrinkage characteristics of concrete produced with coarse recycled concrete aggregate. *Cement and Concrete Composites*, 33(10), pp.1026-1037.
- Gaikwad, M.N., Gunjawate Shubham, A., Hole Gannesh, Y., Kadam Mangesh, M., Ghorpade Pratik, A., 2018. Experimental study on plastic waste as a coarse aggregate for structural concrete, *Int. J. Recent Innov. Trends Comput. Commun.* 6, 63–67.
- Han, D., Yang, Y., Ying, C., Sierens, Z., Fan, H., Li, J., 2018. Efficient recycling and reuse of waste concrete on a construction site, *Int. Concr. Abstr. Portal* 326, 38.1–38.10.
- Kwan, W.H., Ramli, M., Kam, K.J., Sulieman, M.Z., 2012. Influence of the amount of recycled coarse aggregate in concrete design and durability properties, *Constr. Build. Mater.* 26 (1) 565–573.
- Khoury, G. A., 1996. Performance of Heated Concrete - Mechanical Properties, Contract NUC/56/3604A with Nuclear Installations Inspectorate, Imperial College, London, United Kingdom, August.
- Medina, C., Zhu, W., Howind, T., de Rojas, M.I.S. and Frías, M., 2014. Influence of mixed recycled aggregate on the physico-mechanical properties of recycled concrete. *Journal of Cleaner Production*, 68, pp.216-225.
- Meng, Y., Ling, T.Ch., Hung Mo, K., 2018. Recycling of wastes for value-added applications in concrete blocks: an overview, *Resour. Conserv. Recycl.* 138, 298–312.
- Mostofinejad, D., Hosseini, S. M., Nosouhian, F., Ozbakkaloglu, T., Tehrani, B.N., 2020. Durability of concrete containing recycled concrete coarse and fine aggregates and milled waste glass in magnesium sulfate environment, *J. Build. Eng.* 29, 101-182.
- Nagataki, S., Gokce, A., Saeki, T., Hisada, M., 2004. Assessment of recycling process induced damage sensitivity of recycled concrete aggregates, *Cement Concr. Res.* 34(6), 965–971.
- Jiang, Y., Ling, T.C., Shi, M., 2020. Strength enhancement of artificial aggregate prepared with waste concrete powder and its impact on concrete properties, *J. Clean. Prod.* 257.
- Poon, C.S., Azhar, S., Anson, M. and Wong, Y.L., 2001. Comparison of the strength and durability performance of normal- and high-strength pozzolanic concretes at elevated temperatures, *Cement and Concrete Research*, 31, 1291-1300.
- Teixeira, J.E.S.L., Schumacher, A.G., Pires, P.M., Castelo Branco, V.T.F., Martins, H.B., 2019. Expansion Level of Steel Slag Aggregate Effects on Both Material Properties and Asphalt Mixture Performance, *Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board.* 2673, 506–515.
- Topçu, I.B., Canbaz, M., 2004. Properties of concrete containing waste glass, *Cement Concr. Res.* 34, 267–274.
- TS EN 197-1, (2012), “Cement- Stage 1: General cements – component TSE”, Ankara, Türkiye.
- TS EN 1008, (2003), “Beton-Karma suyu-Numune alma, deneyler ve beton endüstrisindeki işlemlerden geri kazanılan su dahil, suyun, beton karma suyu olarak uygunluğunun tayini kuralları TSE”, Ankara, Türkiye.
- TS EN 196-1, (2016), “Çimento deney metotları-Bölüm 1: Dayanım tayini TSE”, Ankara, Türkiye.
- TS EN 12390-4, (2019), “Beton-Sertleşmiş beton deneyleri-Bölüm 4: Basınç dayanım Deney makinelerinin özellikleri TSE”, Ankara, Türkiye.
- TS EN 1170-6, (1999), “Ön yapımlı beton mamuller-Cam elyaf takviyeli çimento (ctc) deney metodu-Bölüm 6: Suya daldırma yoluyla su emme ve kuru yoğunluk tayini TSE”, Ankara, Türkiye.
- TS EN 12504-4, (2012), “Beton Deneyleri-Bölüm 4:Ultrases Geçiş Hızının Tayini, TSE,” Ankara, Türkiye.
- Valadares, F., Bravo, M., de Brito, J., 2012. Concrete with used tire rubber aggregates: mechanical performance, *ACI Mater. J.* 109-M26, 283–292.
- Uygunoglu, T., Topçu, İB, Çelik, A.G., 2014, Use of waste marble and recycled aggregates in self-compacting concrete for environmental sustainability, *Journal of Cleaner Production*, Vol. 84, 691-700.
- Wang, C., Xiao, J., 2018. Evaluation of the stress-strain behaviour of confined recycled aggregate concrete under monotonic dynamic loadings, *Cem. Concr. Compos.* 87, 149–163.
- Wang, Y., Geng, Y., Chang, Y. Zhou, C., 2018. Time-dependent behaviour of recycled concrete filled steel tubes using RCA from different parent waste material, *Constr. Build. Mater.* 193, 230–243.
- Xing, Z., Beaucour, A.-L., Hebert, R., 2011. Noumowe, A., Ledesert, B., Influence of the nature of aggregates on the behaviour of concrete subjected to elevated temperature, *Cement Concr. Res.* 41, 392–402.
- Xuan, D., Shui, Z., 2010. Temperature dependence of thermal induced mesocracks around limestone aggregate in normal concrete, *Fire Mater.: Int. J.* 34, 137–146.
- Yu, H., Zhu, Z., Zhang, Z., Yu, J., Oeser, M., Wang, D., 2019. Recycling waste packaging tape into bituminous mixtures towards enhanced mechanical properties and environmental benefits, *J. Clean. Prod.* 229, 22–31.
- Uysal, A., 2004. Yüksek Sıcaklığın Beton Üzerindeki Etkileri, Yüksek lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.