

**ATIK BETON AGREGALI HAFİF BETONLARIN
YÜKSEK SICAKLIK ETKİSİNDEN SONRA
ÖZELLİKLERİ**

Mounzer KHIR ALLAH

Prof. Dr. Ahmet Ferhat BİNGÖL

**Yüksek Lisans Tezi
İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı
2023
(Her hakkı saklıdır.)**

T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ATIK BETON AGREGALI HAFİF BETONLARIN YÜKSEK SICAKLIK
ETKİSİNDEN SONRA ÖZELLİKLERİ**

(Properties of Lightweight Concrete with Waste Concrete Aggregate after High Temperature Effect)

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mounzer KHIR ALLAH

Danışman: Prof. Dr. Ahmet Ferhat BİNGÖL

Erzurum
Şubat, 2023

KABUL VE ONAY TUTANAĞI

Mounzer KHIR ALLAH tarafından hazırlanan “Atık Beton Agregalı Hafif Betonların Yüksek Sıcaklık Etkisinden Sonra Özellikleri” başlıklı çalışması 22 / 2 / 2023 tarihinde yapılan tez savunma sınavı sonucunda başarılı bulunarak jürimiz tarafından İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yapı Malzemeleri Bilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı:	Prof. Dr. A. Ferhat BİNGÖL <i>Atatürk Üniversitesi</i>	Aslı Islak İmzalıdır
Jüri Üyesi:	Doç. Dr. Meral OLTULU <i>Atatürk Üniversitesi</i>	Aslı Islak İmzalıdır
Jüri Üyesi:	Dr. Öğretim Üyesi Dilek OKUYUCU Erzurum Teknik Üniversitesi	Aslı Islak İmzalıdır

Bu tezin Atatürk Üniversitesi Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili maddelerinde belirtilen şartları yerine getirdiğini onaylarım.

Prof. Dr. Saltuk Buğrahan CEYHUN
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildiriş, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ETİK BİLDİRİM VE İNTİHAL BEYAN FORMU

Yüksek Lisans Tezi olarak Prof. Dr. Ahmet Ferhat BİNGÖL danışmanlığında sunulan “Atık Beton Agregalı Hafif Betonların Yüksek Sıcaklık Etkisinden Sonra Özellikleri” başlıklı çalışmanın tarafımızdan bilimsel etik ilkelere uyularak yazıldığını, yararlanılan eserlerin kaynakçada gösterildiğini, Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından belirlenmiş olan Turnitin Programı benzerlik oranlarının aşılmadığını ve aşağıdaki oranlarda olduğunu beyan ederiz.

Tez Bölümleri	Tezin Benzerlik Oranı (%)	Maksimum Oran (%)
Giriş	15	30
Kuramsal Temeller	21	30
Materyal ve Yöntem	18	35
Araştırma Bulguları ve Tartışma	8	20
Sonuç ve Öneriler	7	20
Tezin Geneli	12	25

Not: Yedi kelimeye kadar benzerlikler ile Başlık, Kaynakça, İçindekiler, Teşekkür, Dizin ve Ekler kısımları tarama dışı bırakılabilir. Yukarıdaki azami benzerlik oranları yanında tek bir kaynaktan olan benzerlik oranlarının %5'den büyük olmaması gerekir.

Beyan edilen bilgilerin doğru olduğunu, aksi halde doğacak hukuki sorumlulukları kabul ve beyan ederiz.

Tez Yazarı (Öğrenci)	Tez Danışmanı
Mounzer KHIR ALLAH	Prof. Dr. Ahmet Ferhat BİNGÖL
22.2.2023	22.2.2023
İmza: Aslı Islak İmzalıdır	İmza: Aslı Islak İmzalıdır

* Tez ile ilgili YÖKTEZ’de yayınlamasına ilişkin bir engelleme var ise aşağıdaki alanı doldurunuz.

☐ Tezle ilgili patent başvurusu yapılması / patent alma sürecinin devam etmesi sebebiyle Enstitü Yönetim Kurulunun/....../.... tarih ve sayılı kararı ile teze erişim 2 (iki) yıl süreyle engellenmiştir.

☐ Enstitü Yönetim Kurulunun/....../.... tarih ve sayılı kararı ile teze erişim 6 (altı) ay süreyle engellenmiştir.

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamda destek ve yardımını asla esirgemeyen, aktardığı bilgi ve deneyimleriyle çalışmamın her aşamasına katkıda bulunan tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Ahmet Ferhat BİNGÖL'e ve tez çalışmam boyunca desteğini esirgemeyen Dr. Öğretim Üyesi Zinnur ÇELİK'e içtenlikle teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca hayatımın her anında yanımda olan, bütün çalışmalarımda olduğu gibi yine destek ve yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen çok kıymetli eşime ve aileme şükranlarımı sunarım.

Mounzer KHIR ALLAH

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ATIK BETON AGREGALİ HAFİF BETONLARIN YÜKSEK SICAKLIK ETKİSİNDEN SONRA ÖZELLİKLERİ

Mounzer KHIR ALLAH

Danışman: Prof. Dr. Ahmet Ferhat BİNGÖL

Amaç: Bu tez çalışmasında, hazır beton laboratuvarında basınç dayanımına tabi tutulan 28 günlük beton numunelerin öğütülmesi ile elde edilen geri dönüşüm agregasının (GDA) farklı oranlarda kullanılması ile beton numuneler üretildi. Üretilen bu numuneler ile kırmataş agregası (KTA) kullanılarak üretilen numunelerin 28 günlük kılcal su emme ve basınç dayanım değerlerinin karşılaştırılması amaçlanmıştır. Ayrıca bu numuneler yüksek sıcaklık sonrası da aynı deneylere tabi tutulmuştur.

Yöntem: Pomza kumu (0-4 mm) ve iri (4-15 mm) GDA %25, %50, %75 ve %100 oranlarında beton karışımına ikame edilerek beton numuneleri hazırlanmıştır. Bütün gruplar oda sıcaklığında ve ayrıca 100°C, 250°C, 500°C ve 750°C derecede yüksek sıcaklığa maruz bırakıldıktan sonra kılcal su emme ve basınç dayanımları test edilmiştir.

Bulgular: Beton numunelerinin basınç dayanımı ve kılcal su emme oranı belirleme deneylerinin sonuçları karşılaştırıldığında; GDA ikamesinin beton numunelerinin yüksek sıcaklık sonrası basınç dayanımlarını iyileştirdiği gözlemlenmiştir.

Sonuç: GDA ve pomza kumu içeren beton numunelerinin hem oda sıcaklığında hem de yüksek sıcaklık sonuçları göz önüne alındığında, GDA'ların beton üretiminde kullanılabileceği düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: GDA, KTA, Yüksek Sıcaklık, Kılcal Su Emme, Basınç Dayanımı

Şubat 2023, 62 sayfa

ABSTRACT

PROPERTIES OF LIGHTWEIGHT CONCRETE WITH WASTE CONCRETE AGGREGATE AFTER HIGH TEMPERATURE EFFECT

Mounzer KHIR ALLAH

Supervisor: Prof. Dr. Ahmet Ferhat BİNGÖL

Purpose: In this thesis study, concrete samples were produced by using the recycling aggregate (RA) obtained by grinding 28-day-old concrete samples subjected to compressive strength in the ready-mixed concrete laboratory at different rates. It is aimed to compare the 28-day capillary water absorption and compressive strength values of these produced samples and the samples produced using crushed stone aggregate (CSA). In addition, these samples were subjected to the same tests after high temperature.

Method: Concrete samples were prepared by substituting pumice sand (0-4 mm) and coarse (4-15 mm) recycling aggregate (RA) into the concrete mixture at the rates of 25%, 50%, 75% and 100%. Capillary water absorption and compressive strengths were tested after all groups were exposed to high temperatures at room temperature and at 100°C, 250°C, 500°C and 750°C.

Findings: When the results of the determination of compressive strength and capillary water absorption rate of concrete samples are compared; It was observed that recycling aggregate (RA) substitution improved the compressive strength of concrete samples after high temperature.

Results: Considering both room temperature and high temperature results of concrete samples containing recycled aggregate (RA) and pumice sand, it is thought that recycled aggregates (RA) can be used in concrete production.

Keywords: RA, CSA, High Temperature, Capillary Water Absorption, Compressive Strength

February 2023, 62 pages

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY TUTANAĞI.....	i
ETİK BİLDİRİM VE İNTİHAL BEYAN FORMU	ii
TEŞEKKÜR	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
TABLolar DİZİNİ.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
KISALTMALAR DİZİNİ	xi
GİRİŞ	1
KURAMSAL TEMELLER.....	3
Atık Malzeme ve Geri Dönüşüm	3
Geri dönüşüm agregası.....	3
Geri dönüşümün amacı ve önemi.....	4
Geri dönüşüm agregasının kullanım alanları	5
Yüksek Sıcaklık	5
Yüksek sıcaklık kaynakları	6
Yüksek sıcaklığın betona etkileri	6
Hafif Beton.....	7
Hafif beton kullanım alanları	8
Hafif betonun avantajları ve dezavantajları	9
MATERYAL ve YÖNTEM	10
Kullanılan Malzeme	10
Geri Dönüştürülmüş Agregra GDA	10
Kırmataş agregra KTA	1111
Pomza kumu.....	111
Karışım suyu	122
Çimento	12
Deneylerde kullanılan aletler	133
Kılcal Su Emme Deneyi.....	19
Beton Karışım Tasarımı	20

Basınç Dayanımı Deneyi.....	21
ARAŞTIRMA BULGULARI.....	22
Taze Beton Deneyi Sonuçları	22
İşlenebilirlik	22
Sertleşmiş Beton Deney Sonuçları.....	23
Beton birim hacim ağırlığı	23
Kılcal su emme.....	28
Yüksek sıcaklık deneyi	28
Basınç dayanımı	34
SONUÇLAR ve ÖNERİLER	44
KAYNAKLAR.....	46
ÖZGEÇMİŞ.....	49

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1. Hafif Betonun Sınıflandırılması	8
Tablo 2. Çimentonun Kimyasal Analizi	13
Tablo 3. Çimentonun Fiziksel ve Mekanik Özellikleri.....	13
Tablo 4. %100 KTA ile Üretilen 1m ³ Beton için Malzeme Miktarları	20
Tablo 5. 1m ³ Beton Karışımlarında Kullanılan GDA ve KTA Miktarları	20
Tablo 6. Beton Karışımlarının Slump Değerleri.....	22
Tablo 7. Beton karışımlarının Birim Hacim Ağırlık Değerleri	23

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Hafif beton kullanılarak inşa edilmiş tarihi yapı örnekleri: a) Pantheon, b) Colosseum (Kaldı, 2011)	7
Şekil 2. Parça Haline Getirilmiş Geri Dönüşüm Agregası (4-15) mm.....	10
Şekil 3. Kırma taş	11
Şekil 4. Pomza kumu.....	122
Şekil 5. Agregada deneyinde kullanılan elek.....	144
Şekil 6. Karışımı hazırlamak için kullanılan laboratuvar tipi btonyer	15
Şekil 7. Silindirik numune kalıpları	15
Şekil 8. ELE autotest 3000 pres cihazı.....	166
Şekil 9. Kullanılan su kürü havuzu	17
Şekil 10. Yüksek sıcaklık fırını	177
Şekil 11. Çökme(slump) deney aleti	18
Şekil 12. Kükürt eğritme aleti	18
Şekil 13. Başlıklanmış Durum	19
Şekil 14. Beton karışımlarının slump değeri.....	22
Şekil 15. Karışım tipinin birim hacim ağırlık grafiği.....	23
Şekil 16. Numunelerin 500°C’de sıcaklık altındaki etkisi	24
Şekil 17. Numunelerin 750°C sıcaklık altındaki etkisi	25
Şekil 18. Renkteki değışikliği gösteren görsel	25
Şekil 19. 100°C’de sıcaklık zaman çizelgesi	26
Şekil 20. 250°C’de sıcaklık zaman çizelgesi	26
Şekil 21. 500°C’de sıcaklık zaman çizelgesi	27
Şekil 22. 750°C’de sıcaklık zaman çizelgesi	27
Şekil 23. Numunelerin su emme testine tabii tutulma aşaması	28
Şekil 24. (%0 GDA) ‘nın kılcal su emme grafiği.....	29
Şekil 25. (%25 GDA) ‘nın kılcal su emme grafiği.....	29
Şekil 26. (%50 GDA) ‘nın kılcal su emme grafiği.....	30
Şekil 27. (%75 GDA) ‘nın kılcal su emme grafiği.....	30
Şekil 28. (%100 GDA) ‘nın kılcal su emme grafiği.....	31
Şekil 29. ±20°C’de kılcal su emme katsayısı değeri.....	31
Şekil 30. 100°C’de kılcal su emme katsayısı değeri.....	32

Şekil 31. 250°C'de kılcal su emme katsayısı değeri.....	32
Şekil 32. 500°C'de kılcal su emme katsayısı değeri.....	33
Şekil 33. 750°C'de kılcal su emme katsayısı değeri.....	33
Şekil 34. Basınç dayanım testi aşaması.....	35
Şekil 35. 750°C'de numunelere verilen hasar derecesi.....	35
Şekil 36. (%0 GDA) 'da basınç dayanım sonuçları	36
Şekil 37. (%25 GDA) 'da basınç dayanım sonuçları	36
Şekil 38. (%50 GDA) 'da basınç dayanım sonuçları	37
Şekil 39. (%75 GDA) 'da basınç dayanım sonuçları	37
Şekil 40. (%100 GDA) 'da basınç dayanım sonuçları	38
Şekil 41. $\pm 20^{\circ}\text{C}$ 'de basınç dayanım sonuçları	38
Şekil 42. 100°C de basınç dayanım sonuçları	39
Şekil 43. 250°Cde basınç dayanım sonuçları	39
Şekil 44. 500°C de basınç dayanım sonuçları	40
Şekil 45. 750°C de basınç dayanım sonuçları	40

KISALTMALAR DİZİNİ

KTA	: Kırma Taş Agregası
GDA	: Geri Dönüşüm Agregası
G1(%0 GDA)	: Yüzde Sıfır GDA Numunesi
G2(%100 GDA)	: Yüzde Yüz GDA Numunesi
G3(%25 GDA)	: Yüzde Yirmi beş GDA Numunesi
G4(%50 GDA)	: Yüzde Elli GDA Numunesi
G5(%75 GDA)	: Yüzde Yetmiş beş GDA Numunesi

GİRİŞ

Betonda atık agreganın kullanmanın birçok faydası vardır. Bu faydalardan en önemlileri, enerji tüketimini azaltmak, yeni agreganın kullanma maliyetini düşürmek ve çevreyi atık birikiminden koruyabilmektir. Doğal kaynaklarımızdan elde ettiğimiz agreganın büyük oranda tükenmesi, agreganın ihtiyacını karşılayacak taş ocaklarının yetersizliği alternatif kaynaklara ihtiyacı artırmıştır. Bu nedenle Geri dönüştürülmüş beton agregalarını yeniden kullanılması fikrini cazip hale getirmiştir.

Bu araştırmanın amacı, geri dönüştürülmüş agreganın kullanımı ile deneyler yapmak ve farklı oranlarda geri dönüştürülmüş beton agregası içeren beton karışımlarının yüksek sıcaklığa maruz kaldıktan sonra basınç dayanımı ve kılcal su emme değerlerini belirlemektir. Bu amaç doğrultusunda kontrol numunesi olarak kırma taş agregası kullanılmıştır.

Hafif beton ifadesi TSE standartlarında ve diğer şartnamelerde yoğunluk itibarıyla 2000 kg/m³ altında kalan betonlar için kullanılır. Hafif beton çimentonun hava ya da hücre sistemiyle geliştirilmesiyle elde edilebileceği gibi beton üretiminde kullanılan geleneksel agreganın yerine hafif agregalar kullanılarak üretilen betonlardır. Taşınması kolay hafif betonların üretiminde ağırlıkça hafif agregalar tercih edilir. Hafif betonun geniş sayılabilecek kullanım alanları vardır. Isı ve ses iletim özellikleri sebebiyle çatılarda ve yangın çıkma olasılığı yüksek alanlarda sıklıkla kullanılırlar.

Beton atıklar normalde eski yapıların yıkımından sonra oluşan molozlardır. Bu atıklar iri ve ince agregalar şeklinde olmaktadır. Beton atık kaynakları; yeniden veya geri dönüşüm için kullanılabilecek beton atıkları, yıkılan eski binalardan, doğal afetlere ya da yangına maruz kalmış yapı yıkıntılarından, ulaşım sistemi ile ilgili çalışmalardan, üretilen bozuk betonlardan, kalite kontrol numunelerinden ve prefabrik üretim atıklarından elde edilirler.

Yüksek sıcaklık ve betonun yüksek sıcaklığa maruz kalma süresi, betonun dayanımı, ısı iletkenliği, ısı genleşme, özgül ısı, birim ağırlık ve renk gibi fiziksel özelliklerine etki eder. Yapıya ve malzemeye zarar veren, hasara yol açan yüksek sıcaklık kaynakları, yangın, özel üretimlerden dolayı endüstri yapılarının fırın bacalarında görülen ve nükleer reaktörlerde oluşan sıcaklıklar olarak söylenebilir.

Beton agregası atıkları kullanılarak yeniden beton üretebilmek ve bu üretilen betonun işlevselliği ve etkinliğini artırabilmek üzerine deneysel ve bilimsel çalışmalara devam

edilmektedir. Bu kapsamda yapılan ön araştırmalar sonucunda, hafif beton kullanmanın ısı açısından olumlu etkisinin olabileceğinin yanı sıra beton agrega atığı kullanıldığı zaman önemli oranda ekonomik ve çevresel bir etkisinin olduğu da görölmüştür.

Bu araştırmanın amacı, geri dönüştürölmüş agrega kullanımı ile deneyler yapmak ve farklı oranlarda geri dönüştürölmüş beton agregası içeren beton karışımlarının yüksek sıcaklığa maruz kaldıktan sonra basınç dayanımı ve kılcal su emme değerlerini belirlemektir. Bu amaç doğrultusunda kontrol numunesi olarak kırma taş agrega kullanılmıştır.

KURAMSAL TEMELLER

Atık Malzeme ve Geri Dönüşüm

Günümüz dünyasında artan sanayi ve kentleşme ile birlikte yeraltı ve yer üstü kaynakların bilinçsiz bir şekilde kullanılmakla beraber atıklarda giderek artmaktadır. Bu atıkların düzenli bir şekilde geri dönüşüme sokulması gerekmektedir. Geri dönüşüme sokulmayan atıkların gezegenimize ve insan sağlığına olumsuz bir şekilde geri dönüşü olmaktadır. Gelişmiş ülkelerde atık malzemelerinin geri dönüşümü bir devlet politikası haline gelmiş durumdadır. Diğer taraftan gelişmekte olan ülkelerde tam olarak atık maddelerin geri dönüşüme sokulması uzun vadede beklenmektedir.

İnşaat ve yıkım enkazı; tuğla, beton, duvar, toprak, kayalar, kereste, cam, plastik kayalar, alüminyum (dış cephe kaplaması dahil), çelik, alçıpan, yalıtım, elektrik malzemeleri, sıhhi tesisat armatürleri, oluklu mukavva ve ağaç kütükleri gibi çok miktarda ve çeşitte inşaat atık malzemeleri oluşmaktadır. İnşaat atık malzemelerinin yeniden kullanımını yeni teknolojiyi, sosyal değerleri, maliyetleri ve istihdamı gerekmektedir, (Aiyewalehinmi *et al.* 2016). Geri dönüşüm aynı zamanda üretim için önemli bir süreçtir. İnşaat sektörü için faydalı bir agrega kaynağı olmaktadır. Beton geri dönüşümü giderek daha popüler hale gelmektedir. Yıkılan yapılar, yol yapım malzemeleri ve saha atıklarından arta kalan atıklar yeni arge çalışmaları için bir fırsat oluşturmaktadır. Çevre duyarlılığına dikkat edilerek beton geri dönüşümü, molozun yeniden kullanılmasına olanak sağlarken aynı zamanda inşaat maliyetlerini düşürmektedir.

Geleneksel beton üretmek için çimento, su ve agrega kullanılmaktadır. Geleneksel beton elde etmek için kullanılan malzemeler atık malzemelerden oluşuyorsa bu beton çevre dostu beton olarak isimlendirilmektedir (Abhijeet 2014). Beton üretiminde atık maddelerin kullanılması ekonomik ve sürdürülebilirlik bakımından hayati önem taşımaktadır.

Modern toplumlar için atık maddelerin dönüşümü ve çevreyi koruma konuları önemli hale gelmiştir. Buradaki en önemli amaç nüfusun artmasıyla ihtiyaçların giderilmesi için doğal kaynak kullanımının kontrol altına alınması, enerji tasarrufu ve çevre kirliliğinin azaltılmasıdır (Marinkovic *et al.* 2010)

Geri dönüşüm agregası

İnşaat atıklarının en büyük bölümünü beton oluşturmaktadır. Betonun bölgeden uzaklaştırılması ve geri dönüştürülmesi hayati bir öneme sahiptir. Geri dönüştürülmüş beton

agregası (GDBA)'nın kullanımı çevresel ve ekonomik olarak olumlu faydaları olmaktadır. GDBA kullanılmadan önce bazı özellikleri araştırılmalıdır. Bu özellikler dayanıklılık ve mekanik özellikleridir (Abbas *et al.* 2009)

Dünya genelinde beton ve bileşenlerin kullanımı artmaktadır. Bundan dolayı agregaların kullanımı artmaktadır. Büyük nüfusa sahip Çin ve Hindistan gibi ülkeler agrega kullanımında öncü ülkelerdir. Özellikle beton kullanımında agrega kaynaklarının doğal kaynaklardan temin edilmesi çevre için büyük risk oluşturmaktadır. Özellikle son yıllarda geri dönüştürülmüş agregaların kullanımı artmış durumdadır (Aasanipour *et al.* 2019).

GDBA normal agrega yüzeyine yapışık olan sertleşmiş çimento harcından dolayı doğal agregalardan farklıdır. Sertleşmiş çimento harcı ve kalitesi GDBA'nın fiziksel özelliklerini doğrudan etkilemektedir. Bundan dolayı GDBA doğal agregalara göre daha düşük yoğunluğa, düşük mukavemete ve yüksek su emilimine sahip agrega çeşidi olarak belirtilmiştir. Son yıllarda GDBA ile yapılan betonların mekanik özellikleri üzerine araştırmalar artmıştır. GDBA'nın betonda kullanılması, doğal agregalı betona göre dayanımını ve elastisite modülünü azaltmaktadır (Jian-he *et al.* 2021)

Geri dönüşümün amacı ve önemi

İnşaat sektörü uygulamalarının çevre üzerinde süre gelen önemli etkileri vardır. İnşaat ve yıkım atıklarının inşaat projeleri üzerine katkısı önemlidir. Sonuç olarak, inşaat atıkları yönetimi yıllardır gündemdedir. İnşaat atıklarının kontrol altına almak için yapılan birçok uygulama vardır. Atık miktarlarının azaltılması, üretilen kaçınılmaz atıkların yönetimi için etkili bir sistemin oluşturulması ve benimsenmesi gereklidir. Kaçınılmaz israfı yönetirken, tercih sırasına göre üç seçenek vardır; yeniden kullanımı, geri dönüşümü ve bertarafıdır.

Çevre yönetiminin desteklenmesi ve sürdürülebilir kalkınma misyonu, inşaat da dahil olmak üzere tüm endüstrilerde çevreyi korumak için uygun yöntemlerin benimsenmesi üzerinde baskı oluşturmaktadır. Bina inşaatı için doğal kaynakların kapsamlı bir şekilde çıkarılması sürdürülebilirlik ilkesini tehdit etmekte ve çevrecilerden giderek artan itirazlar almaktadır. Doğası gereği inşaat faaliyeti çevre dostu bir faaliyet değildir. Farklı ülkelerdeki kapsamlı bina geliştirme ve yeniden geliştirime planları bina yıkımına ilişkin inşaat sorunlarını ağırlaştırmaktadır. Doğal kaynakların ve beton yıkım atıklarının kullanımını optimize etmek için uzun vadeli eylem planları geliştirmeye ve inşaat sektöründeki paydaşlar ve şirketler arasında çeşitli çıkarları koordine etmeye ihtiyaç vardır (Torrington 2000). Bertaraf seçeneklerinin hiyerarşisi, düşükten yükseğe doğru altı çevresel etki düzeyinde kategorize edilebilir; yeniden kullanmak, geri dönüştürmek, kompostlamak, yakmak ve depolamaktır (Peng *et al.* 1997).

Yeniden kullanım, geri dönüşüm ve azaltmadan oluşan üç ana atık minimizasyon stratejisi “3R” olarak adlandırılır. Sahada oluşan inşaat atıklarını azaltmak için tasarım ve inşaat süreçlerinde yer alan tüm kişiler arasında koordinasyon şarttır. Atık geri dönüşümü etkin bir şekilde ele almanın en önemli faktörlerinden biri inşaat sektörü üst yönetimin desteğidir. Ancak, atık yönetiminin uygulanması, tesis ve ekipman gibi büyük miktarda yatırım sektöre büyük yük olmaktadır. Atık yönetiminin uygulanmasında inşaat paydaşları, uzun vadeli politika ve strateji oluşturmaları gerekmektedir.

Geri dönüşüm agregasının kullanım alanları

Sürekli artan nüfus ve kentleşme, yüksek katlı yapıların inşasına ve mevcut eski düşük katlı yapıların yıkılmasına yol açmıştır. Bu yalnızca doğal kaynakların endişe verici bir oranda tükenmesine neden olmakla kalmadı, aynı zamanda sürdürülebilirliği tehdit etmektedir. Beton endüstrisi, özellikle gelişmekte olan ülkelerde doğal kaynakların büyük bir kısmını tüketmektedir. Son yıllarda beton endüstrisi, eski yapıların yıkımından kaynaklanan atıkların mevcudiyeti ve agrega edinme maliyetlerinin azalması nedeniyle yapısal beton uygulamalarında inşaat ve yıkım atıkları kullanılmaya başlanmıştır. Bu beton endüstrisinin karbon ayak izini azaltmasına ve böylece çevreye zarar vermeden büyümeye devam etmesine yardımcı olabilir. Çevreyi korumak için dünyanın dört bir yanındaki ülkeler, farklı ürünler geliştirerek inşaat ve yıkım atıklarını azaltmaya çalışmaktadır.

Yüksek Sıcaklık

Beton yüksek sıcaklığa maruz bırakıldığında mekanik, fiziksel ve kimyasal özellikleri üzerinde olumsuz etkilerle beraber bozulmalar meydana gelmektedir. 350 °C ve 400 °C arasındaki sıcaklıklarda lifler bulunmuyorsa betonda ufalanmalar ve parça kopmaları meydana gelmektedir. Bununla beraber içerisinde lif bulunan numunelerde, yukarıdaki sıcaklık değerlerinde herhangi bir parçalanma görülmemektedir (Suhaendi 2006). Yaklaşık 160 °C ergime noktasına sahip polipropilen lifler eriyerek porozitenin gelişmesini kolaylaştırmaktadır (Tanrıöven 2009)

Yangına dayanıklılık açısından beton, diğer en popüler yapı malzemelerinden olan ahşap ve çeliğe göre açık bir farkla daha iyi performans göstermektedir. Beton yanıcı olmayan bir malzemedir ve bu nedenle yangın yükünü ve yangının yayılmasını önleyen doğal bir bariyer oluşturmaktadır. Yangın sıcaklıklarına maruz kaldığında beton, zehirli gazları ve dumanı serbest bırakmaktadır. Ancak yangını simüle eden yüksek sıcaklık koşullarında içyapısı kimyasal reaksiyonla birlikte birkaç fiziksel dönüşüme uğrar ve bu da geri dönüşü olmayan sonuçlar oluşturmaktadır. Standartlaştırılmış test yöntemleri, yüksek sıcaklık koşullarının

etkisini kesin olarak belirlemek somut olarak zordur. Bu tür sorunların ana nedeni, ilgili test yöntemlerinin farklı testler kullanmasıdır. Nem içeriği, betonun maruz kalmadan önceki yaşı, maruz kalma süresinin uzunluğu, sıcaklık artışı, beton numunelerinin boyutu ve şekli, soğutma koşulları ve test başlangıç noktasıdır. Deneysel olarak yangın/yüksek sıcaklık koşullarının etkisini belirlemeye yönelik testler, kontrollü sıcaklık oranında gerçekleştirilmektedir. Sıcaklık-zaman eğrileri ile temsil edilen koşulları değiştirmektedir. Bunlardan en popüler olanları: standart eğri, hidrokarbon eğrisi, harici yangına maruz kalma eğrisi, tünel eğrisi ve yavaş ısınma eğrisidir. Testler, standart sıcaklık-zaman eğrisi ile temsil edildiği gibi, sıcaklık artış hızına bağlı olmaktadır. Genellikle tüm standart testlerde kullanılan yangına maruz kalma eğrisidir (Wioletta *et al.* 2016).

Yüksek sıcaklık kaynakları

Yapıya ve malzemeye zarar veren, hasara yol açan yüksek sıcaklık kaynakları, yangın, özel üretimlerden dolayı endüstri fırın bacalarında görülen sıcaklık ve hava alanı pistlerinde sürtünmenin sebep olduğu ısınma ve nükleer reaktörler olarak gösterilebilir.

Yüksek sıcaklığın betona etkileri

Beton yanmayan yapı malzemeleri sınıfına (A1) girmektedir. A1 sınıfındaki yapı malzemeleri hiç yanmaz, yangın karşısında alevlenmez, ısıldamaz ve kömürleşmez.

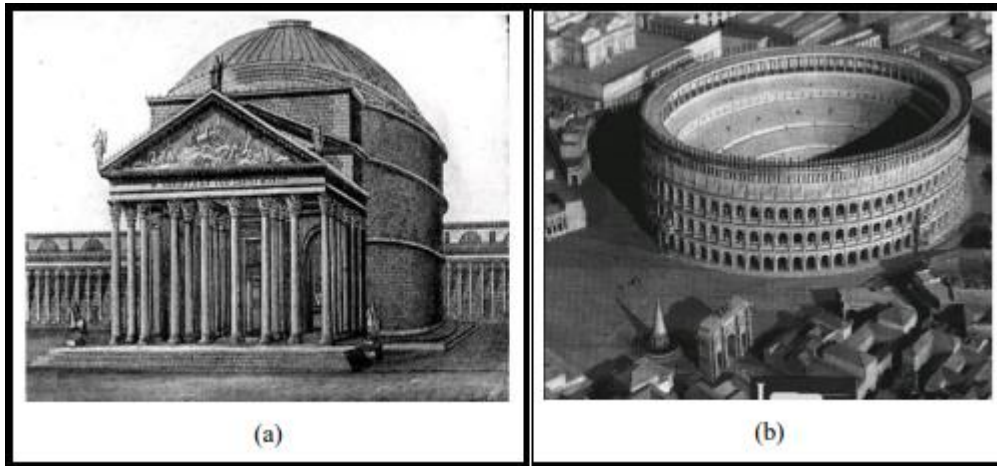
Ancak, düşük ısı iletkenliğine sahip betonun yüzeyi ısınırken iç kısımları yüzeye göre daha az ısınır dolayısıyla sıcaklık farkından dolayı betonda genleşmeler ve büzülme meydana gelir. Yüksek sıcaklık ve betonun yüksek sıcaklık etkisi altında kalmasının süresi, betonun ısı yayılımı, ısı iletkenliği, ısı genleşme, özgül ısı, birim ağırlık ve renk gibi fiziksel özelliklerine etki eder.

Günlük hayatta kullandığımız binalar, köprüler ve tüneller gibi yapılar işlevleri bakımından yüksek sıcaklığa maruz kalabilmektedir. Yüksek sıcaklığın en büyük kaynağı yangınlardır. Uzun zamandır yangının betonarme yapıları üzerindeki etkileri araştırılmaktadır. Günümüzde modern yapılarda, tüneller vb yapıları inşa etmek için kimyasal ve mineral çeşitleri kullanılarak yüksek dayanımlı ve yüksek performanslı betonlar üretilmektedir. Beton yapılarda yüksek sıcaklığın etkileri ve buna bağlı olarak gösterdikleri davranışları detaylı bir şekilde akademik olarak araştırılmaktadır. Yangın gibi yüksek sıcaklığın oluşturduğu zararlara ülkemizde çok sık rastlanmaktadır. Betonarme yapıları yüksek sıcaklığın etkisi ile fiziksel ve mekanik özellikleri üzerinde değişiklikler meydana getirmektedir. Bu değişiklikler sonucunda dağılma, parçalanma, elastisite modülünde azalma gibi çok ciddi yapısal bozulmalara sebep olmaktadır. Eğer yangın sonucu yüksek sıcaklığa maruz kalmış betonarme yapılarının onarımı

veya yıkımına karar verilmesi gerekiyorsa laboratuvarında tahribatlı ve tahribatsız testlere tabii tutulmalıdır (Kızılkıran *et al.* 2008). Bu testlerde ilk etapta betonda meydana gelen çatlaklar ve renk değişiminin olup olmadığına bakılmaktadır. Yapılan inceleme sonucu gözlenen renkler kırmızı veya pembe ise sıcaklık 300-600°C'ye, sarımtırak bej 900-1000 °C'ye ve gri ise 600-900°C'ye ulaştığını ifade etmektedir (Georgali *et al.* 2005). Yüksek sıcaklığa maruz kalan betonun renk değişimi önemli bir parametre olmaktadır. Munsell renk dizgesi kullanılarak yapılan deneysel çalışmalarda yüksek sıcaklığın silis dumanı, katkısız ve katkılı harçlara olan etkileri detaylıca incelenmiş, harçların maruz kaldığı her sıcaklık için basınç dayanımı arasında ilişki kurulabileceği sonucuna varılmaktadır (Yüzer *et al.* 2004).

Hafif Beton

Eski çağlardan beri kullanılan hafif beton MÖ 3000'li yıllara dayanmaktadır. Babil' in inşası ve Romalıların bazı yapıları bunlara örnektir. Halen günümüzde ayakta olan Cosa Limanı, Kolezyum ve Pentheon buna örnek verilmektedir. Şekil 1'de hafif beton kullanılarak inşa edilmiş tarihi yapı örnekleri gösterilmektedir.



Şekil 1. Hafif beton kullanılarak inşa edilmiş tarihi yapı örnekleri: a) Pantheon, b) Colosseum (Kaldı, 2011)

Tablo 1’de Hafif betonlarda basınç ve dayanım değerleri görülmektedir.

TS EN 206+A2 (206+A2, 2021) ACI 213R

HAFİF BETONLAR			
	Taşıyıcı Hafif Beton	Yarı taşıyıcı Hafif Beton	Yalıtımlı Hafif beton
YOĞUNLUK	>1850 kg/m ³	800-1850 kg/m ³	<800 kg/m ³
DAYANIM	>17MPa	3,4–17,0 MPa	0,7 -3,4 MPa
AGREGA ÖRN.	Şist, Kil, Pomza Cüruf	Diatomit	Vermikülit, Perlit

Hafif agregalar su, çimento ve istendiği takdirde katkı maddesi ilave edilerek oluşturulmaktadır. Hafif beton üretiminde kullanılan hafif agregalar gevşek birim ağırlığı 1200 kg/m³ ’ü aşmayacak şekilde kırılmış veya kırılmamış gözenekli yapıya sahip inorganik agregalar kullanılmaktadır. Hafif agregalar farklı fiziksel ve kimyasal özelliklere sahiptir. Hafif agregalar yüksek boşluk yapısına sahip olduğu için birim hacim ağırlıkları düşük olmaktadır. Hafif agregalar doğal ve yapay olarak ikiye ayrılmaktadır. Doğal hafif agregalar tortul ve volkanik cüruf gibi kayalardan elde edilmektedir. Özgül ağırlıkları ise 500 ile 1500 kg/m³ arasında değişmektedir (Yeğınobalı 1997). Doğal hafif agregalar eleme ve kırma işleminden geçmektedir. Yapay hafif agregalarda eleme ve kırmaya ilave olarak kullanılan malzemeler belirli işlemlerden geçmektedir. Bur da kullanılan malzemeler; genleştirilmiş kil, perlit, uçucu kül ve vermikülit gibi malzemelerdir. Yapay hafif agregalar; kil, vermikülit, kuvarsit, obsidyen gibi doğal taşların ısıl işleme tabi tutulmasıyla elde edilmektedir. Bunlara ek olarak talaş, testere tozu elyaf gibi ahşap ürünleri, EPS köpükleri, plastik atıklar tuğla kırıkları gibi malzemelerde hafif beton agregasında kullanılmaktadır (Postacıoğlu 1987).

Hafif beton kullanım alanları

Betonarme yapılarda taşıyıcı hafif betonun kullanılması ile beraber binanın ağırlığının %25 gibi oranda azalması sağlanabilmektedir. Hafif taşıyıcı betonun kullanılmasının binanın ağırlığının azaltılmasına olanak sağlayarak taşıyıcı elemanların kesit alanlarını azaltarak ve bununla birlikte maliyette tasarruf sağlanmaktadır. Taşıyıcı hafif betonda kullanılan en ekonomik agregalar doğal hafif agregalardır.

Yarı taşıyıcı hafif betonların yoğunluk ve basınç dayanım değerleri taşıyıcı hafif betonu ve yalıtım hafif betonu arasında olması gerekmektedir. Basınç dayanım değeri 3,4-17 MPa arasında değişmektedir (ACI-213R-03, 2003). Yarı taşıyıcı hafif betonlar çatı panelleri ve duvar gibi yapı elemanlarını imal etmek için kullanılır. Bu yapılarda hafif betonun kullanılmasıyla yük aktarma ile beraber zamandan tasarruf ve ısı yalıtımı sağlamaktadır. Genel olarak dolgu betonun kullanıldığı endüstriyel yapılarda kullanılmaktadır.

Isıl ve yalıtım özellikleri de yalıtım betonu ve taşıyıcı hafif beton arasındadır. Yüksek hava boşluğu içeren agregalar tercih edilir. Genellikle dolgu betonu kullanılması gereken endüstriyel uygulamalarda kullanılır (Lamond *et al.* 2006).

Hafif betonun avantajları ve dezavantajları

Bazı avantajlarından dolayı hafif betonların son yıllarda kullanımı oldukça artmıştır. Avantajlarından dolayı son yıllarda hafif beton ile ilgili araştırmalar artmakla beraber ayrı bir alan olarak karşımıza gelmektedir. Hafif betonun avantajları arasında; buzlanmaya karşı dayanıklılık, yangınlara karşı dayanıklılık, ağırlığı az olduğundan dolayı yapıya etki eden yükleri azaltma ve ısı iletkenliğinin az olması olarak sıralanabilmektedir. Hafif beton kullanılarak tasarlanan yapı elemanlarının büyük yapıların ağırlığını azaltmakla beraber ekonomik olarak da oldukça uygun olmaktadır. Yapının ağırlığı az olduğundan dolayı betonun kalıba yaptığı basınç da düşmektedir. Hafif betonun avantajlarının yanında dezavantajları da bulunmaktadır. Bu dezavantajların bazıları; aşınmaya karşı dirençsiz olması, neme karşı yalıtılmasının gerekliliği ve yapısındaki boşlukların fazla olması nedeni ile dayanıklılığı geleneksel betona kıyasla daha düşük olmaktadır.

MATERYAL ve YÖNTEM

Kullanılan Malzeme

Bu bölümde çalışmalar esansında kullanılan malzemelerin genel özellikleri ve malzemeler ile ilgili bilgiler yer almaktadır. Özellikle inşaat sektöründe son yıllarda kullanılan malzemelerin çeşitliliği göz önüne alındığında bu malzemelerin ve yeni geliştirilerek oluşan malzemelerin kimyasal ve fiziksel özelliklerinin bilinmesi oldukça önem arz etmektedir.

Geri Dönüştürülmüş Agregası (GDA)

Bu deneysel çalışmada, farklı beton sınıflarında üretilerek, beton santrali tarafından basınç dayanımı testine tabi tutuldu. Daha sonra atık haline gelmiş, Elek analizi yapıp 4-15 mm boyut kullanılmıştır. sonra geri dönüşüm agregası olarak kullanılmıştır (Şekil 2).

GDA'ların kullanılması sürdürülebilirlik bakımından doğal ve enerji hammadde tüketiminde ve atık madde miktarının olabildiğince azaltılması, çevreyi korumak adına oldukça önem arz etmektedir. Artan nüfus ile birlikte inşaat yapılarında hızlı bir artışa ve inşaat sektörünün de hızla gelişmesine sebep olmaktadır. Bundan dolayı doğal hammadde ve enerji sarfiyatı da giderek artmaktadır. Bu bağlamda geri dönüşüm agregaların kullanımı ekolojik olarak büyük önem taşımaktadır. Araştırmacılara göre yapı sektöründe kullanılmakta olan malzemelerin yaklaşık olarak %50'sinin doğal kaynaklardan karşıladığını göstermektedir (Demirel *et al.* 2014).



Şekil 2. Parça Haline Getirilmiş Geri Dönüşüm Agregası (4-15) mm

Kırma taş agregası (KTA)

Kırma taş agregası, büyük taşların veya kayaların parçalanmasıyla elde edilmektedir. Kırma taşlar üretilirken taş ocaklarında önce kayalar patlatılmakta daha sonra ise kırıcılar kullanılarak boyutları küçültülmektedir. Son olarak istenilen boyutta kırılmış taşlar eleklerden geçirilmektedir.

Kırma işleminde yuvarlak parçalar daha köşeli hale getirilmektedir. Böylece tane şekli, dağılımı ve tane boyut aralığı daha düzenli hale gelmektedir (Doğan, 2019).

Doğal agregası kaynaklarının sınırlı olması veya uygun olmaması sebebiyle hem çevrenin korunması hem de yüksek dayanımlı beton elde etmek için kırma taş kullanılmaktadır. Kırma taş agregası kullanılarak üretilen betonlarda düşük dozajlı betonların işlenebilirliği ve de kohezyonu zayıf olmaktadır. Bu şekilde üretilen betonlarda suyu tutacak yeterli ince malzeme olmadığından ve düşük kompoziteli olmasından dolayı yerleştirildikten sonra suyu kumaktadırlar. Bunun sonucunda beton da rötre çatlaklarını meydana getirmektedir (Özgan 2005). Şekil 3'te kırma taş görseli yer almaktadır.



Şekil 3. Kırma taş

Pomza kumu

Pomza çoğunlukla inşaat sektöründe kullanılmaktadır. Ülkemizde ise %90 oranında inşaat sektöründe kullanılmaktadır. Pomza genellikle perlitin kullanıldığı hemen hemen her yerde kullanılmaktadır. Pomzanın kullanılmasında tercih sebeplerinden birisi de enerji ve yatırım zorunluluğu olmamasından dolayı tercih edilmekte ve yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Pomza ile üretilen betonlar düşük yoğunlukta olduğu için hafif beton

üretilebilmektedir. Hafif beton hem maliyetten hem de zaman açısından tasarruf sağladığı için tercih sebebi olmaktadır. Pomza ile üretilen yapılar hafif olduğu için kolon, kiriş ve temellere gelen basınç kuvvetini azaltmaktadır.

Pomzanın genel özellikleri; süngerimsi, boşluklu yapıda olması, kimyasal ve fiziksel durabilitesinin iyi olması, volkanik olaylar sonucunda meydana gelmiş olmasıdır.

Pomzanın oluşumu sırasında içerisindeki gaz kabarcıkları hızlı bir şekilde içesinden ayrılmakta ve soğumaktadır. Bunun sonucunda ise çok fazla gözenekli yapıya sahip olmaktadır. Bu oluşan gözenekler birbiriyle bağlantılı değildir. Aynı zamanda boşluklu yapının çok fazla olmasından dolayı yalıtkanlık derecesi ve geçirimsizliği düşük olmaktadır. Pomzanın sahip olduğu bu özelliklerden dolayı izolasyon görevi görmektedir. Yani kış aylarında soğuğa karşı ve yaz aylarında sıcaklığa karşı yalıtım sağlamaktadır (Çelikten 2019). Şekil 4'te deneysel çalışmada kullanılan pomza kumunun görseli yer almaktadır.



Şekil 4. Pomza kumu

Karışım suyu

Çalışmada karışım suyu olarak Atatürk Üniversitesi içme suyu kullanılmıştır.

Çimento

Bu tez çalışmasında TS EN 197–1 standartlarına uygun olarak, Aşkale Çimento Fabrikasında üretilmiş olan CEM I 42.5 R çimento kullanılmıştır. Kullanılan çimentonun kimyasal analizi Tablo 2’te, fiziksel ve mekanik özellikleri Tablo 3’te verilmiştir.

Tablo 2. Çimentonun Kimyasal Analizi

Kimyasal Analizler	%
SiO ₂	17,73
Al ₂ O ₃	4,56
Fe ₂ O ₃	3,07
CaO	62,81
MgO	2,07
SO ₃	2,9
Kızdırma kaybı	3,36
K ₂ O	0,62
Na ₂ O	0,29
(Na ₂ O); Na ₂ O+0,658* K ₂ O	0,7
Cl	0,02
Ölçülemeyen	0,46
CaO (serbest kireç)	0,56
Çözünmeyen kalıntı	0,85
Toplam	100

Tablo 3. Çimentonun Fiziksel ve Mekanik Özellikleri

Fiziksel ve Mekanik Testler	
İncelik 45µ elek üstü %	8,98
Özgül ağırlık (g/cm ³)	3,14
Özgül yüzey (cm ² /g)	3807
Piriz başı (Saat-dakika)	141 dk
Piriz sonu (Saat-dakika)	175 dk
Hacim genleşmesi (mm)	1
Basınç dayanımı 3 Gün (MPa)	27,7
Basınç dayanımı 28 Gün (MPa)	57,2
Su ihtiyacı (%)	28,6

Deneylerde kullanılan aletler

Bu bölümde tez çalışması sürecinde deneysel çalışmalarda kullanılan aletler hakkında detaylı bilgi yer almaktadır. Bu aletler; elek, betonyer, kalıp, pres makinesi, su kürü havuzu, yüksek sıcaklık fırını, çökme(slump) deney aleti ve numune başlık aletidir.

Elek

Bu tez çalışmasında Agrega deneyleri için TS EN 933 – 2’ye uygun, TS 1227 ISO 3310 – 1 ve TS 1226 ISO 3310 – 2’de belirtilmiş olan özelliklere sahip 0,25 mm, 0,50 mm, 2 mm, 4 mm, 8 mm ve 16 mm göz açıklıklarına sahip kare delikli tel elekler kullanılmıştır (Şekil 5).



Şekil 5. Agrega deneyinde kullanılan elek

Betonyer

Karışım numunelerini hazırlamak için ELE firmasına ait 135° açıyla manevra yapma özelliğine sahip, 60 dm³ kapasiteli 25 devir/dakika karıştırma hızına sahip düşey eksenli laboratuvar tipi betonyer kullanılmıştır. Şekil 6’de kullanılmış olan laboratuvar tipi betonyerin görseli yer almaktadır.



Şekil 6. Karışımı hazırlamak için kullanılan laboratuvar tipi betonyer

Kalıplar

Deneyisel çalışmalar esnasında sertleştirilmiş plastikten imal edilmiş olan 10*20 cm'lik silindirik kalıplar kullanılmıştır (Şekil 7).



Şekil 7. Silindirik numune kalıpları

Pres makinası

Sertleşmiş beton karışım numunelerinin basınç dayanımını belirlemek için 300 ton kapasiteli ELE marka Autotest 3000 modeli olan hidrolik pres kullanılmıştır. Şekil 9'da ELE Autotest 3000 pres cihazı yer almaktadır.



Şekil 8. ELE Autotest 3000 pres cihazı

Su kürü havuzu

Genellikle beton değişik hava koşullarında ve değişik kütlelerde dökülmektedir. Bu yüzden betona çeşitli kürler uygulanmaktadır. Bu çalışmada 21 ± 2 derece sıcaklıkta 28 gün boyunca kür havuzuna yerleştirilmiştir (Şekil 9).



Şekil 9. Kullanılan su kürü havuzu

Yüksek sıcaklık fırını

Betonun yüksek sıcaklığa maruz kaldığında gösterdiği davranışları belirlemek önem arz etmektedir. Betonun yüksek sıcaklığa maruz kaldıktan sonra yüksek sıcaklık etkisinden dolayı dayanımını belirlemek için yüksek sıcaklık fırını kullanılmıştır (Şekil 10). Olası tehlike olan patlamaya karşı çelik kafes kullanılmıştır.



Şekil 10. Yüksek sıcaklık fırını

Çökme (slump) deneyi aleti

Yapılan çalışmada diğer önemli bir alet olan çökme slump deneyi aletidir. Bu tez çalışmasında bir tabla kullanılmıştır (Şekil 11).



Şekil 11. Çökme(slump) deney aleti

Numune başlıklarının aleti

Bu çalışmada kükürt karışımı metodu ile silindir numuneler başlıklanmıştır (Şekil 13).



Şekil 12. Kükürt eritme aleti



Şekil 13. Başlıklnmış Durum

Kılcal Su Emme Deneyi

Genellikle Betonun kılcal emmesinin tayininde prizma şeklinde yerleştirilmiş olan beton numuneler kullanılmaktadır. Bu deney yönteminde numunelerin sadece bir yüzü su ile temas ettirilerek su emme oranının zamana bağlı olarak veriler elde edilmektedir. Küçük çaplı boşluklar içerisinde emilmiş olan su kılcallık etkisi ile yükselmektedir. Betonarme yapılarda istenmeyen bu durumu kontrol etmek için kılcal su emme deneyleri yapılmaktadır.

Numuneler her taraftan yalıtım bandı ile sarıldı ve 24 saat boyunca su ile temas yerleştirilmektedir.

Kılcal su emilimini hesaplamak için aşağıdaki denklem kullanılmıştır.

$$K_k = \left(\frac{Q}{A}\right)^2 \cdot \frac{1}{t}$$

K_k : kılcal su emme katsayısı (cm^2/sn)

Q : emilen su miktarı (cm^3)

A : kılcal su emme yüzey alan (cm^2)

t : ölçüm aralığı süre (sn)

Beton Karışım Tasarımı

TS 802'ye göre yapılan, C30 beton karışım tasarımında su/çimento oranı tüm gruplarda 0,46 olacak şekilde sabit tutulmuştur. GDA'lı gruplarda KTA yerine hacimce %25, %50, %75 ve %100 oranlarında GDA ikame edilerek beton numuneleri hazırlanmıştır. Deneysel çalışma için, %0 GDA (%100 KTA) ve %25, %50, %75, %100 GDA ikame edilen her grup için 15 adet 10*20 cm silindir şeklinde numuneler üretilmiştir. Çalışma kapsamında KTA ile hazırlanan karışımlara ait malzeme oranları Tablo 4 ve KTA-GDA ile üretilen karışımlara ait malzeme oranları Tablo 5'te verilmiştir.

Agrega tane sınıflarının oranları belirlenirken ayarlanmış granülometri eğrisi kullanılmıştır. 0- 4 mm tane sınıfı ince agregadan %50 ve 4 -15 mm tane sınıfı iri agregadan %50 oranlarında malzeme karışıma katılmıştır. Çimento dozajı 465 kg, su/çimento oranı ise 0,46 olarak sabit tutulmuştur.

Normal betonlar yaklaşık olarak %80 agrega, %12 çimento ve %8 karışım suyu içermektedir. Dünyada yaklaşık yılda 10 milyar ton betonun büyük bir kısmında agregalar kullanılmaktadır (Mehta, 2002).

Tablo 4. %100 KTA ile Üretilen 1 m³ Beton için Malzeme Miktarları

%100 KTA ile üretilen 1m ³ beton için malzeme miktarları		
	Hacim (m ³)	Ağırlık (kg)
Çimento	147.61	465
Su	214	214
İri agrega	307.68	824.58
İnce agrega	307.68	510.74
Hava	23	0
Toplam	1000	2014.32

Tablo 5. 1 m³ Beton Karışımlarında Kullanılan GDA ve KTA Miktarları

1 m ³ Beton karışımlarında kullanılan GDA ve KTA miktarları (kg)				
Karışım	Karışimdaki GDA oranı	GDA	KTA	1m ³ ağırlık
%0 GDA	0	0	824.58	2014.3
%25 GDA	25%	190.76	618.43	1999
%50 GDA	50%	381.52	412.29	1983.5
%75 GDA	75%	572.28	206.14	1968
%100 GDA	100%	763	0	1952.7

Basınç Dayanımı Deneyi

Bu çalışmada 10 x 20 cm boyutlarında silindir numuneler kür havuzundan çıkarıldıktan sonra kuruması için bırakılmıştır. Bu numuneler 100°C, 250°C, 500°C ve 750°C’de 3 saat süreyle yüksek sıcaklığa maruz bırakıldıktan sonra oda sıcaklığında soğumaya bırakılmıştır. Numuneler oda sıcaklığına geldiğinde basınç dayanımları belirlenmiştir.

ARAŞTIRMA BULGULARI

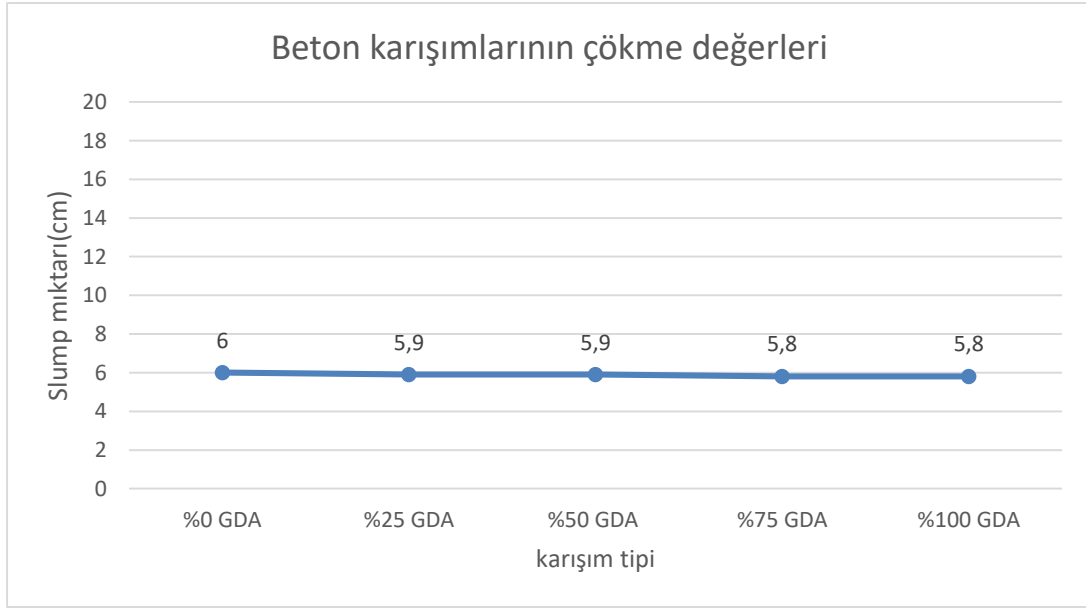
Bu bölümde genel olarak elde edilen bulgular yer almaktadır.

Taze Beton Deneyi Sonuçları

İşlenebilirlik

Tablo 6. Beton Karışımlarının Çökme Değerleri

Karışım tipi	%0 GDA	25% GDA	50% GDA	75% GDA	100% GDA
Çökme miktarı(cm)	6	5.9	5.9	5.8	5.8



Şekil 14. Beton karışımlarının Çökme değerleri

Karışım numunelerine ait çökme değerleri Şekil 15'te sunulmuştur. Karışım tipi %0 GDA, %25 GDA, %50 GDA, %75 GDA, 100% GDA olan grupların sırasıyla çökme miktarları 6 cm, 5.9 cm, 5.9 cm, 5.8 cm ve 5.8 cm olarak belirlenmiştir. Bütün gruplar TS EN 12350-2 standardına göre S2 sınıfındadır. GDA kullanılan karışımlara ait çökme değerleri, referans karışıma kıyasla önemli bir değişim göstermemiştir.

Durmuş *et al.* (2008) çalışmalarında farklı oranlarda iri GDA kullanılarak elde edilen taze beton karışımlarının çökme değerlerinin 18-22 cm arasında değiştiğini ve beton karışımlarında kullanılan GDA miktarı arttıkça düşüş değerinin azaldığını belirtmiştir.

Topçu *et al.* (1995) su miktarını değiştirmeden farklı miktarlarda GDA kullanan deneysel çalışmalarında, karışımdaki GDA miktarı%50'den fazla olduğunda betonun işlenebilirliğinin azaldığını belirtmiştir.

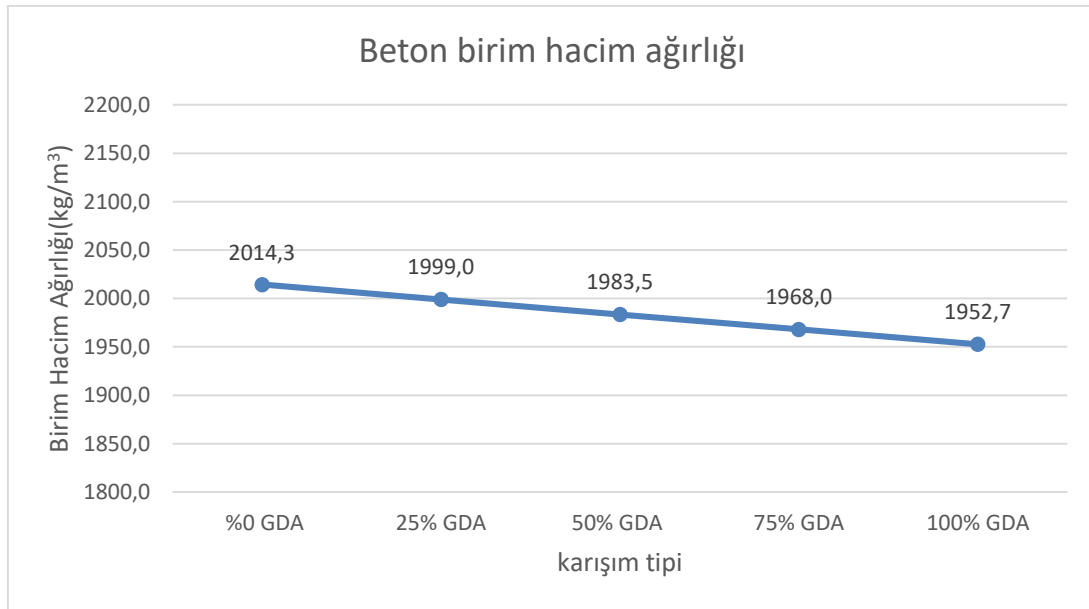
Sertleşmiş Beton Deney Sonuçları

Beton birim hacim ağırlığı

Bu bölümde karışım tipleri Karışım tipi %0 GDA, %25 GDA, %50 GDA, %75 GDA, %100 GDA olan numunelerin birim hacim ağırlıklarının değerleri, (Tablo 7, şekil 15).

Tablo 7. Beton karışımlarının Birim Hacim Ağırlık Değerleri

Karışım tipi	%0 GDA	%25 GDA	%50 GDA	%75 GDA	%100 GDA
Birim Hacim Ağırlığı (kg/m ³)	2014.3	1999.0	1983.5	1968.0	1952.7



şekil 15. Karışım tipinin birim hacim ağırlık grafiği

Geri dönüşüm agregalarının çevresinde imento kalıntıları olacağı açıktır. Bu durum bilinen kütle/hacim oranına göre hesaplandığında agreganın yoğunluğunun azalmasına neden olmaktadır. Bu durum imento hamurunun agregada duvarında oluşturduğu boşluk oranı ve agregada çevresinde daha önce oluşan imento kalıntıları beton numunelerin yoğunluğunu azaltmaktadır. (Demir 2009).

GDA zgl ağırlığının düşük olması nedeniyle, karışımlarda GDA yüzdesi arttıķa birim hacim ağırlık azalmaktadır. Pomza zgl ağırlığı: 1.65 g/cm³, GDA zgl ağırlığı: 2.47 g/cm³, KTA zgl ağırlığı: 2.68 g/cm³.

Yüksek sıcaklık deneyi

Numuneler $\pm 20^{\circ}\text{C}$, 100°C , 250°C , 500°C ve 750°C sıcaklığa maruz bırakıldı. Numuneler her sıcaklıkta 180 dakika kadar kaldı. $\pm 20^{\circ}\text{C}$ 'de ve 100°C 'de herhangi bir değişiklik gözlemlenmedi. Sıcaklık 250°C 'ye çıkarıldığında ise çok az miktarda etkilenecek az miktarda çatlaklar meydana geldi. 500°C 'ye arttırdığında çok fazla çatlaklar ve boşluklar oluştu. 750°C 'ye arttırdığında ise numuneler hasar almıştır. Şekil 16, Şekil 17 ve Şekil 18 da numunelerin sıcaklığa maruz bırakıldıktan sonraki görselleri yer almaktadır. Şekil 18'da görüldüğü gibi $\pm 20^{\circ}\text{C}$ 'de ve 100°C 'de herhangi bir renk değişimi gözlemlenmemiştir, 250°C çok Açık pembe bir renge değişmiştir, 500°C 'de renk değişimi gözle görülebilecek kadar pembe renge değişimi gözlenmiştir, 750°C 'de gri renk değişimi görülmüş ve numune fiziksel olarak zarar almıştır.

(Zhao *et al.* 2020) çalışmalarında, geri dönüştürülmüş ince ve iri beton agregaları kullanılarak hazırlanan betonun $20\text{--}800^{\circ}\text{C}$ 'ye yüksek sıcaklığa maruz bırakıldıktan sonraki basınç dayanımları üzerine deneysel bir çalışma sunmuşlardır. %100 iri geri dönüştürülmüş agrega ve değişen seviyelerde (%0, %50 ve %100) ince geri dönüştürülmüş agrega ile üç beton karışımı hazırlamışlardır. Prizmatik numuneler ($100 \times 100 \times 300$ mm) 180 dakika boyunca hedef sıcaklıklara tabi tutulmuş ve ardından oda sıcaklığına soğutulduktan sonra deneye tabi tutulmuştur. Elde edilen sonuçlar, yüksek sıcaklığın geri dönüşüm agregasının sıkıştırıcı özellikleri üzerinde olumsuz bir etkiye sahip olduğunu göstermişlerdir. %50 ince geri dönüşüm agregası içeren beton, ince geri dönüşüm agregası kullanılmayan betona kıyasla daha iyi bir termal performans sunduğu belirlenmiştir.

Numunelerin 100°C , 250°C , 500°C ve 750°C 'deki sıcaklık zaman grafikleri çizilmiştir.



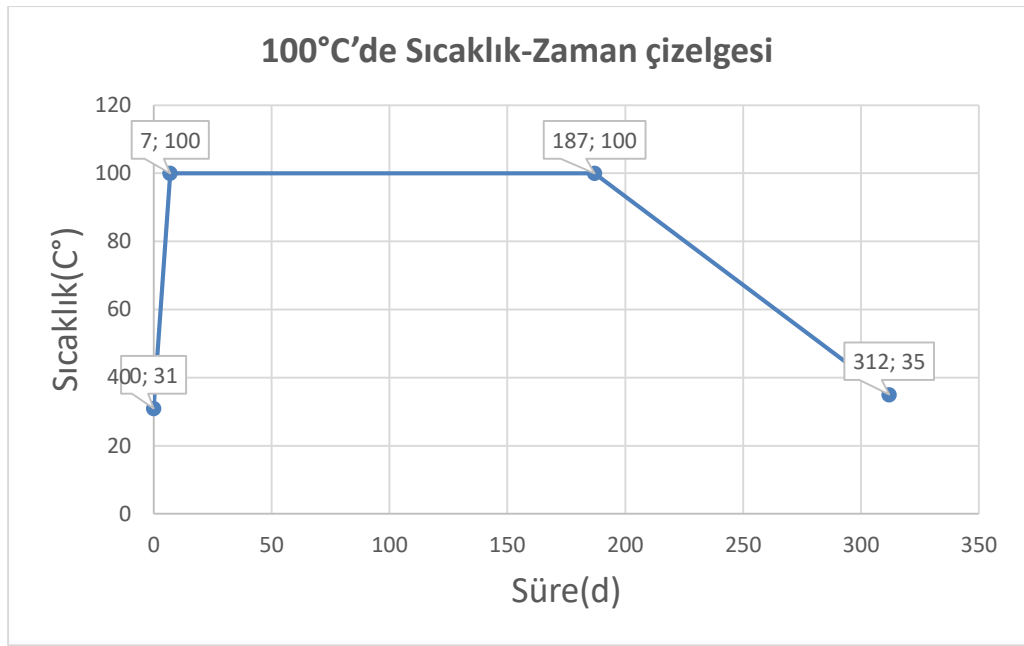
Şekil 16. Numunelerin 500°C 'de sıcaklık altındaki etkisi



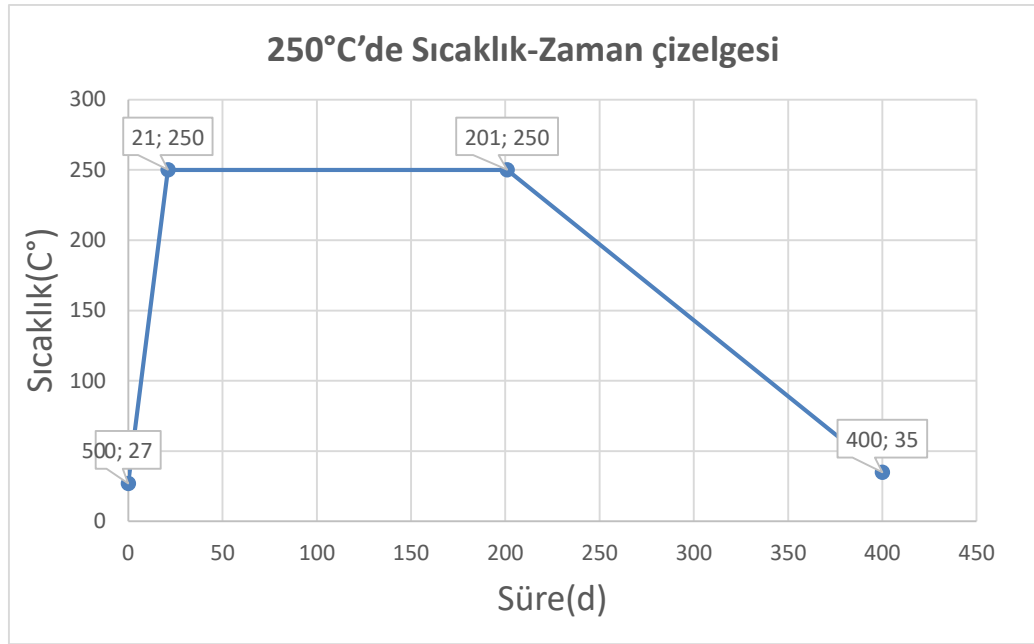
Şekil 17. Numunelerin 750°C sıcaklık altındaki etkisi



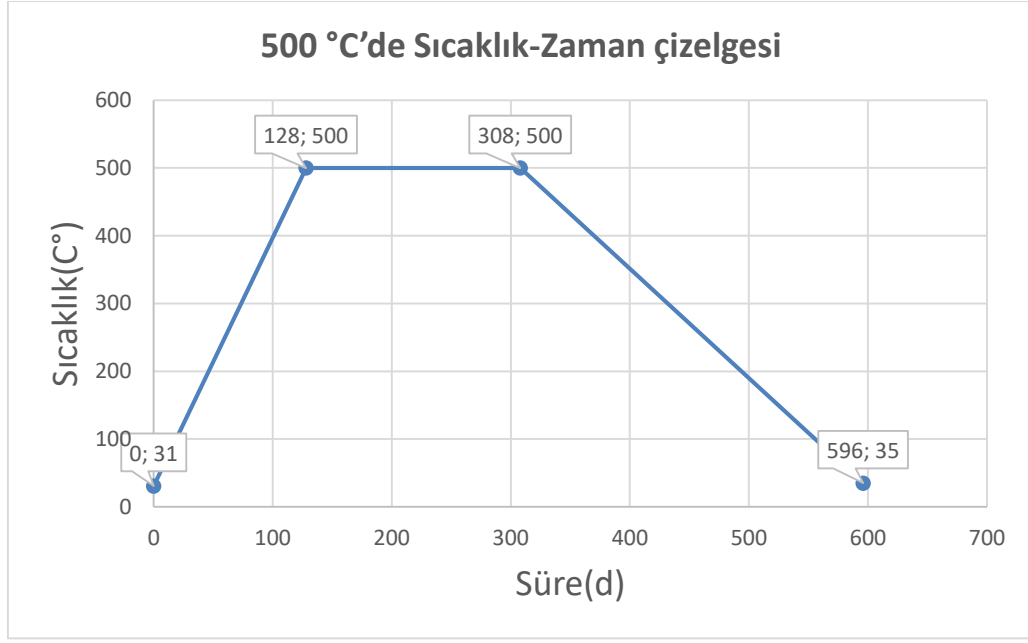
Şekil 18. Renkteki değişikliği gösteren görsel



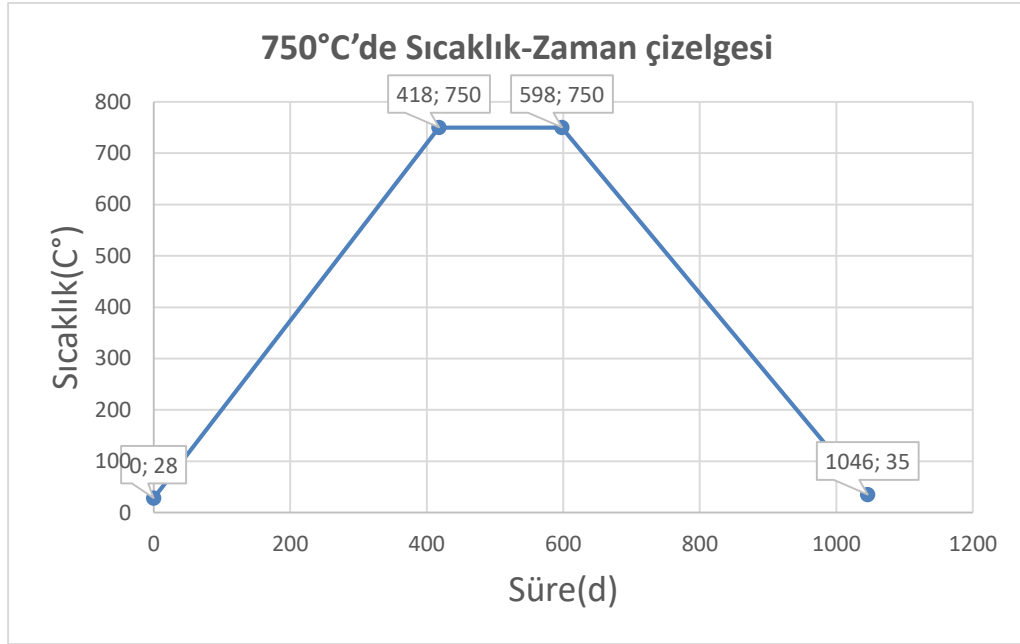
Şekil 19. 100°C'de sıcaklık zaman çizelgesi



Şekil 20. 250°C'de sıcaklık zaman çizelgesi



Şekil 21. 500°C’de sıcaklık zaman çizelgesi



Şekil 22. 750°C’de sıcaklık zaman çizelgesi

31°C’den 100°C’ye kadar yedi dakika geçmiştir. Numune 100°C sıcaklık altında 180 dakika kalmıştır (Şekil 19).

27°C’den 250°C’ye kadar 21dakika geçmiştir. Numune 250°C sıcaklık altında 180 dakika kalmıştır. Numune oda sıcaklığında 199 dakikada 35°C’ye ulaşmıştır (Şekil 20).

31°C'den 500°C'ye kadar 128 dakika geçmiştir. Numune 500°C sıcaklık altında 180 dakika kalmıştır. Numune oda sıcaklığında 288 dakikada 35°C'ye ulaşmıştır (Şekil 21).

28°C'den 750°C'ye kadar 418 dakika geçmiştir. Numune 750°C sıcaklık altında 180 dakika kalmıştır. Numune oda sıcaklığında 448 dakikada 35°C ulaşmıştır (Şekil 22).

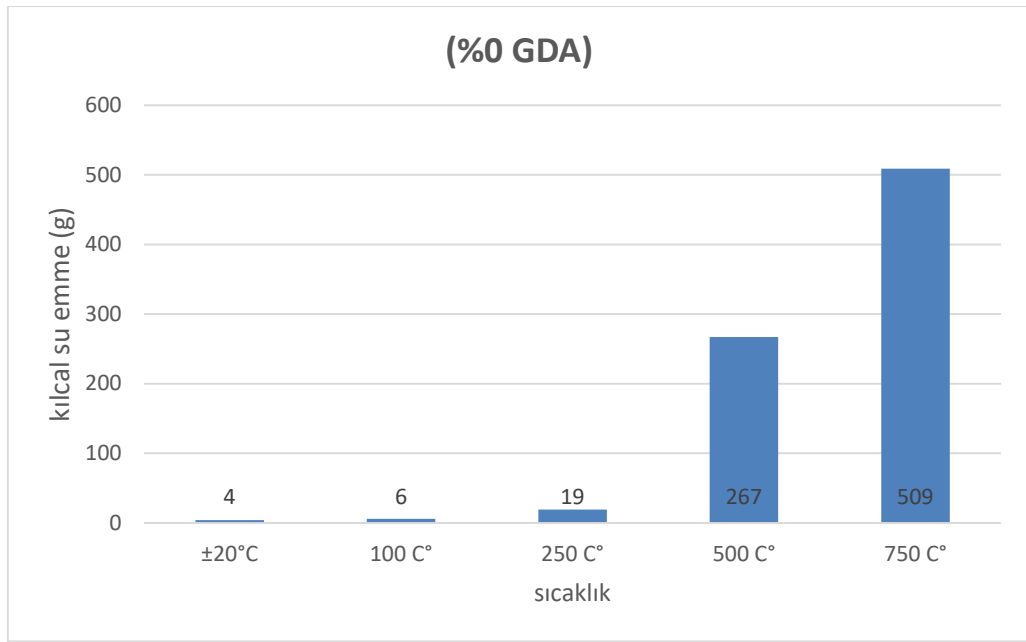
Kılcal su emme

Kılcal su emme deneyi beş ayrı grup için aynı sıcaklıkta yapılmıştır. Şekil 23'de kılcal su emme testine tabi tutulması esnasında elde edilen bir görsel yer almaktadır. %0 GDA, %25 GDA, %50 GDA, %75 GDA ve %100 GDA karışımlarına ait oda ve yüksek sıcaklık sonuçları Şekil 24,25,26,27,28,29,30,31,32 ve 33 Sunulmuştur.

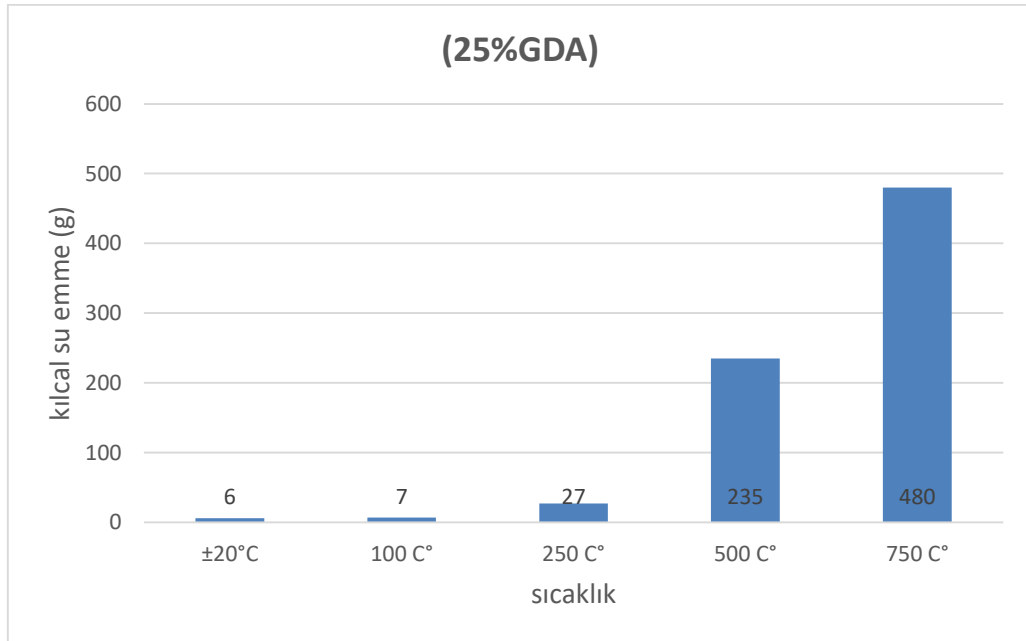
Bütün numuneler aynı ortamda $\pm 20^{\circ}\text{C}$, 100°C , 250°C , 500°C ve 750°C sıcaklığa maruz bırakılmıştır. Maruz bırakılan sıcaklıklarda numunelerin kılcal su emme değerleri TS EN 1925 (2000) standarda göre hesaplanmıştır.



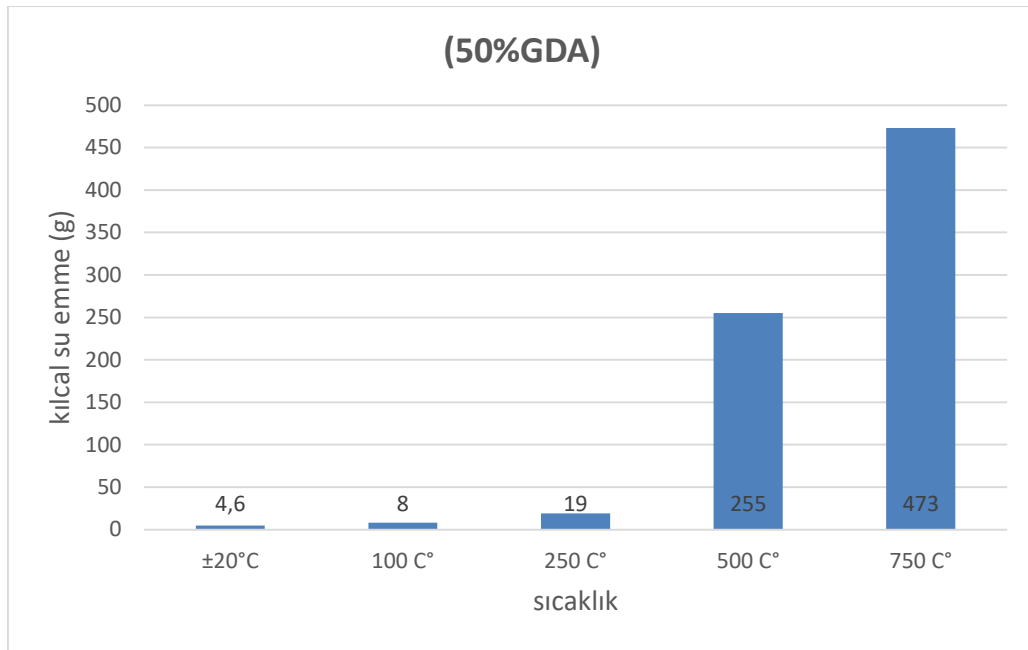
Şekil 23. Numunelerin su emme testine tabii tutulma aşaması



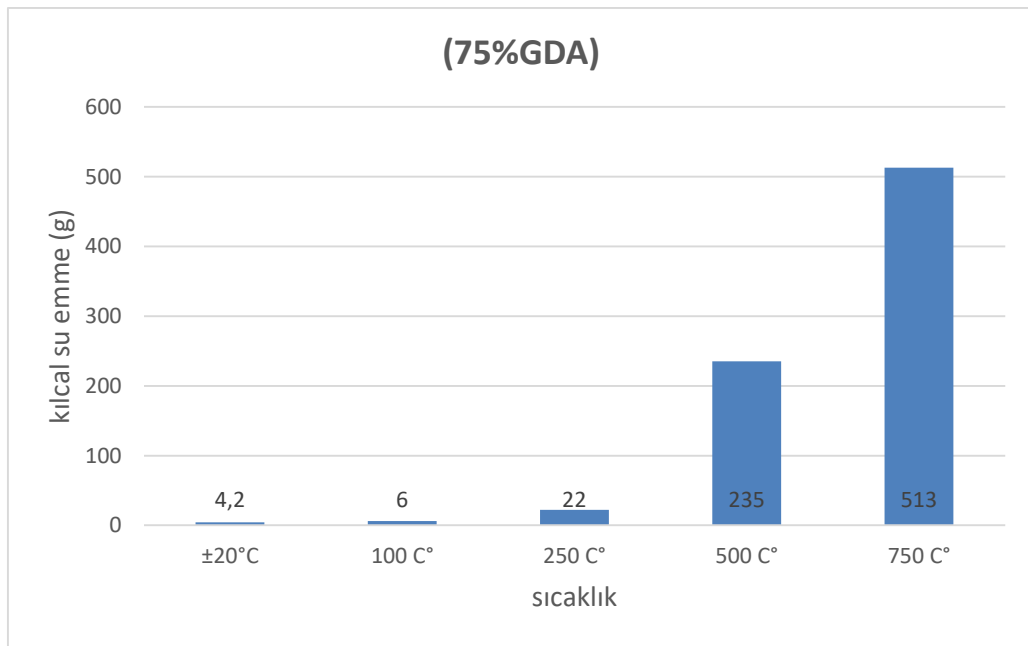
Şekil 24. (%0 GDA) ‘nın kılcal su emme grafiği



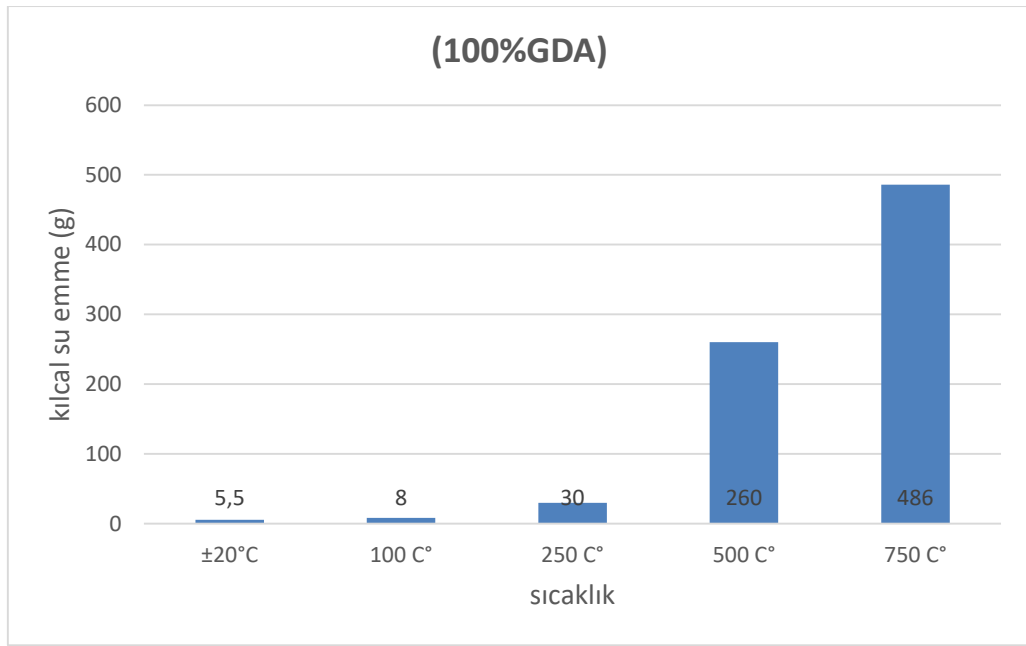
Şekil 25. (%25 GDA) ‘nın kılcal su emme grafiği



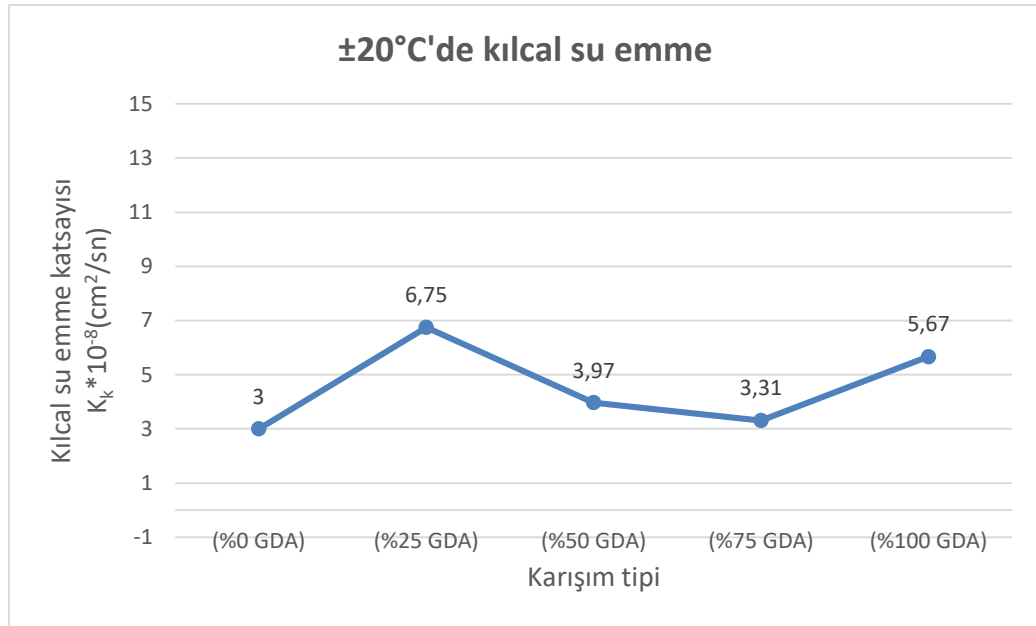
Şekil 26. (%50 GDA) ‘nın kılcal su emme grafiği



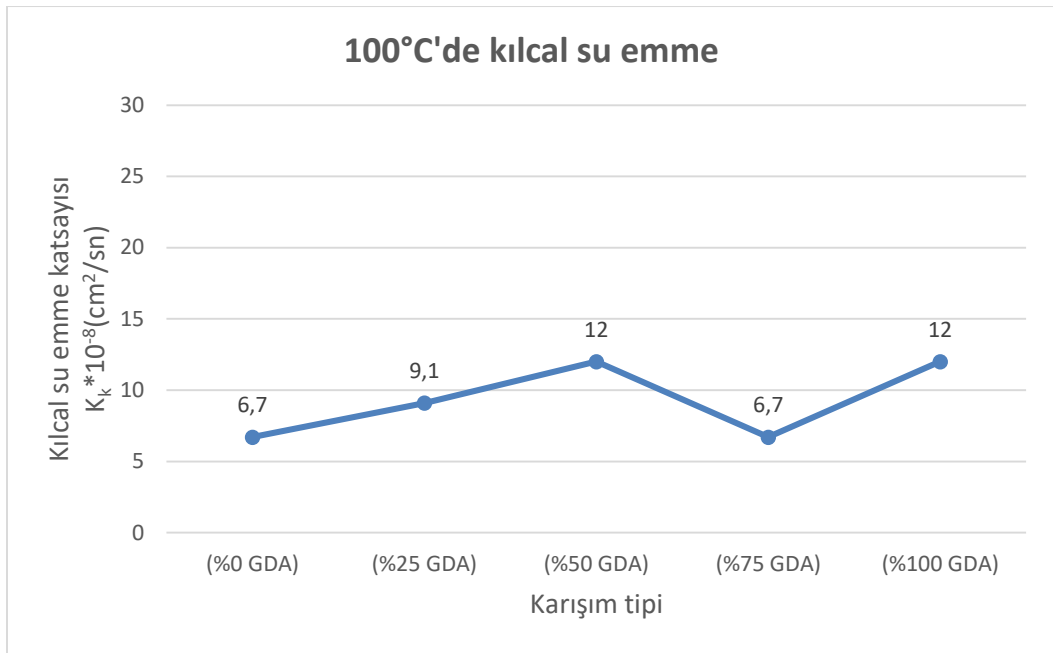
Şekil 27. (%75 GDA) ‘nın kılcal su emme grafiği



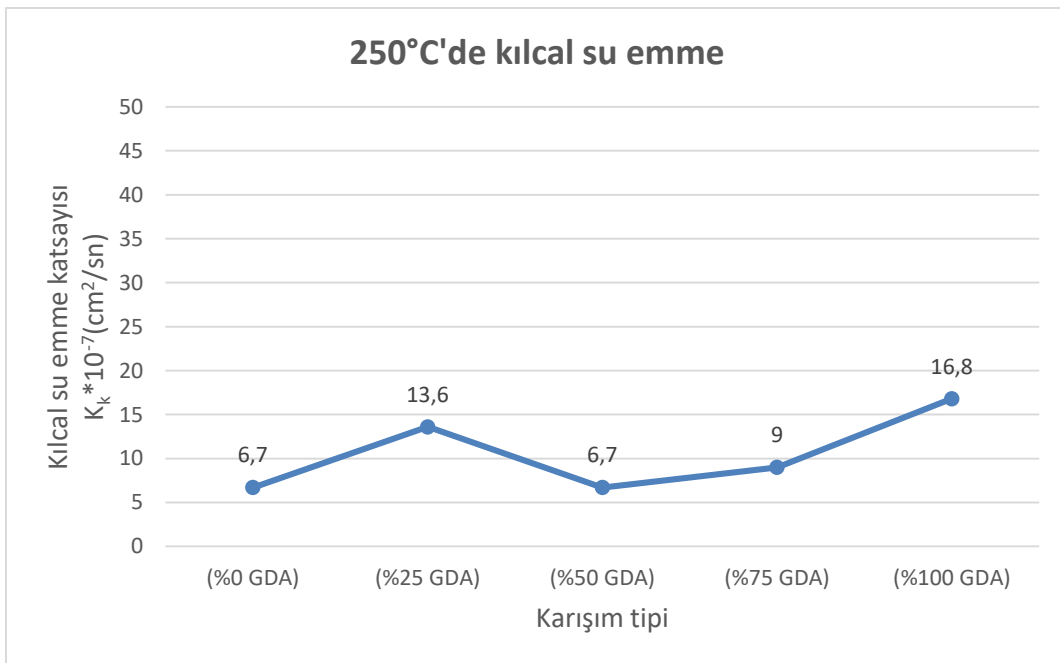
Şekil 28. (%100GDA) ‘nın kılcal su emme grafiği



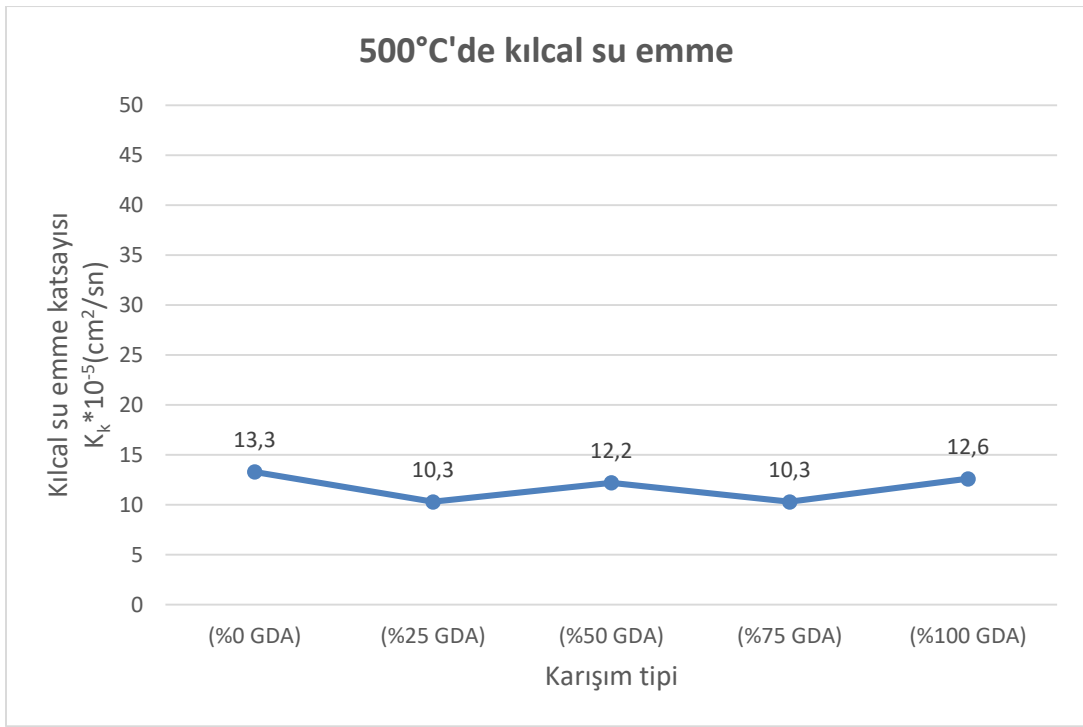
Şekil 29. ±20°C'de kılcal su emme katsayısı değeri



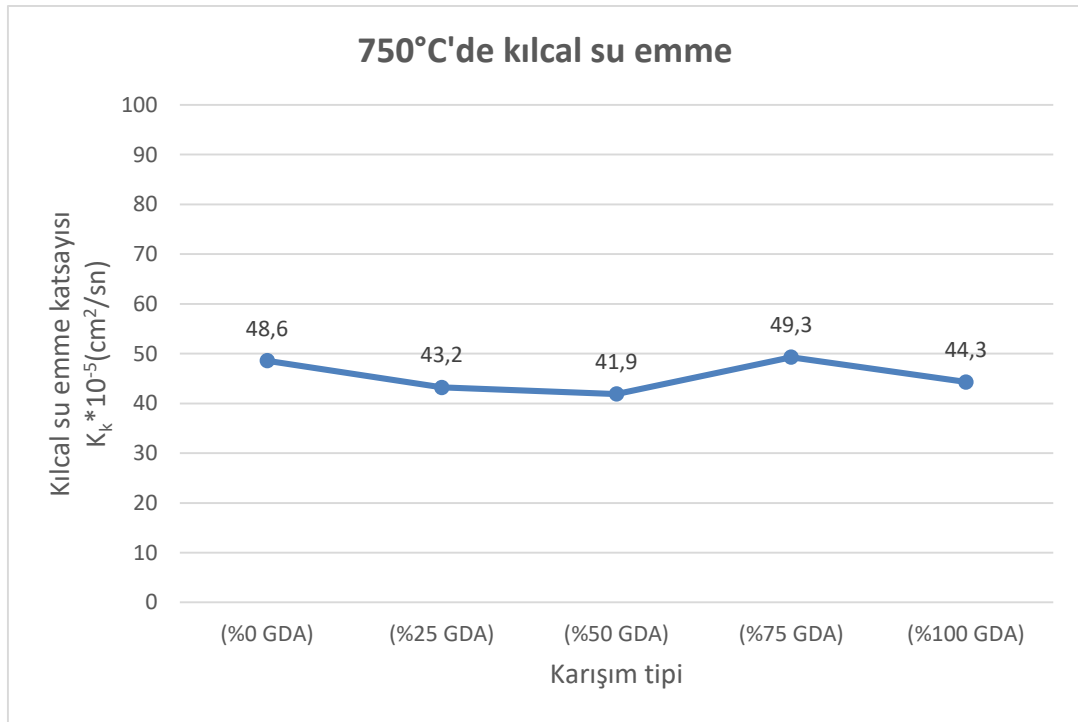
Şekil 30. 100°C’de kılcal su emme katsayısı değeri



Şekil 31. 250°C’de kılcal su emme katsayısı değeri



Şekil 32. 500°C’de kılcal su emme katsayısı değeri



Şekil 33. 750°C’de kılcal su emme katsayısı değeri

(%0 GDA) numunesinin oda sıcaklığında kılcal su emme miktarı 4 gr, 100°C’de 6 gr, 250 °C’de 19 gr, 500°C’de 267 gr ve 750°C’de 509 gr olarak elde edildi (Şekil 24).

(%25 GDA) numunesinin oda sıcaklığında kılcal su emme miktarı 6 gr, 100°C’de 7 gr, 250°C’de 27 gr, 500°C’de 235 gr ve 750 °C’de 480 gr olarak elde edildi (Şekil 25).

(%50 GDA) numunesinin oda sıcaklığında kılcal su emme miktarı 4,6 gr, 100°C’de 8 gr, 250 °C’de 19 gr, 500°C’de 255 gr ve 750°C’de 473 gr olarak elde edildi (Şekil 26).

(%75 GDA) numunesinin oda sıcaklığında kılcal su emme miktarı 4,2 gr, 100°C’de 6 gr, 250°C’de 22 gr, 500°C’de 235 gr ve 750°C’de 513 gr olarak elde edildi (Şekil 27).

(%100 GDA) numunesinin oda sıcaklığında kılcal su emme miktarı 5 gr, 100°C’de 8 gr, 250°C’de 30 gr, 500°C’de 260 gr ve 750°C’de 486 gr olarak elde edildi (Şekil 28).

Erdoğan (2007) çalışmasında, su/çimento oranının 0,5’ten yüksek olması durumunda, beton hacmindeki boşlukların tamamen kapanma durumunun olmadığını ve bu durumdan dolayı betondaki geçirimsizliğin arttığını açıklamıştır.

Su/çimento oranının 0,5'ten küçük olması boşluk yüzdesinin daha az olmasına neden olmuştur. Bu çalışmada kullanılan beton numunelerdeki kılcal su emme oranları oda sıcaklığında birbirine yakın değerler vermiştir. Ancak sıcaklığın artmasıyla birlikte betonda çatlaklar ve hasarlar oluşmakta ve bu da kılcal su emmede artışa neden olmaktadır.

Basınç dayanımı

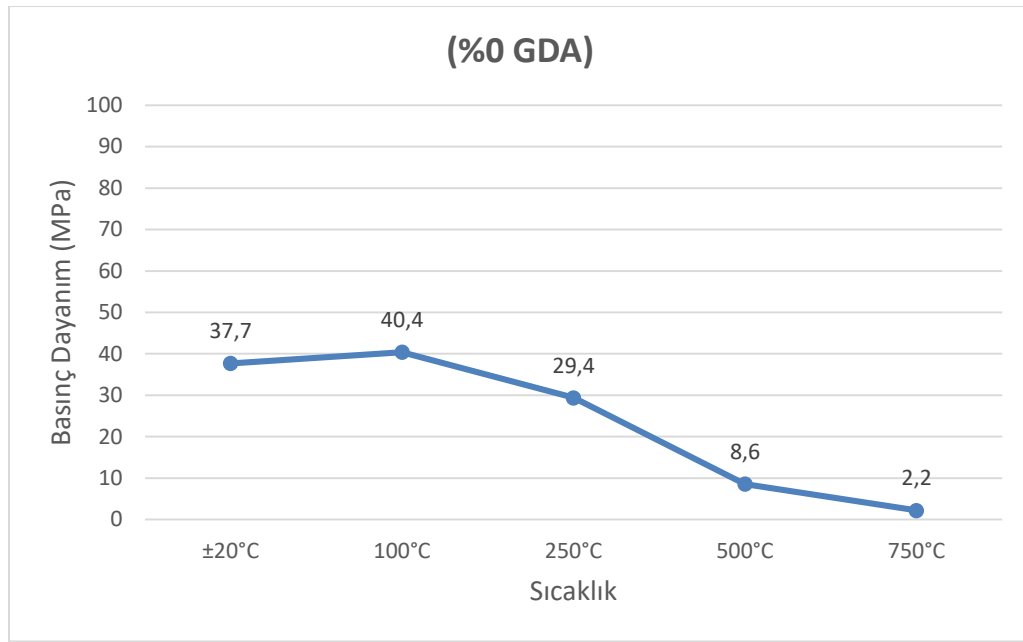
Bu bölümde beş ayrı numunenin farklı sıcaklıklardaki basınç dayanım testleri yapılmış ve sonuçları grafiklendirilmiştir. Şekil 34’te basınç dayanım testi esnasında numunenin görseli yer almaktadır. Şekil 35’te 750°C’de numunelerin hasar derecesini gösteren bir görsel yer almaktadır. Şekil 36’de (%0 GDA)’in, Şekil 37’de (%25 GDA)’nin, Şekil 38’da (%50 GDA)’ün, Şekil 39’da (%50 GDA)’ün ve Şekil 40’da (%100 GDA)’in basınç dayanım sonuçları verilmiştir.



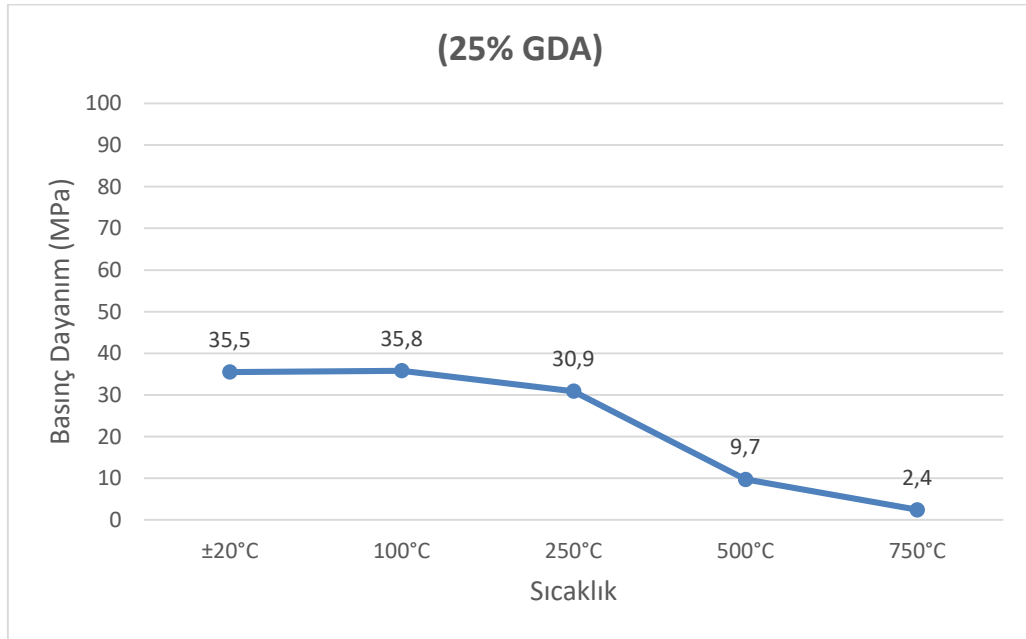
Şekil 34. Basınç dayanım testi aşaması



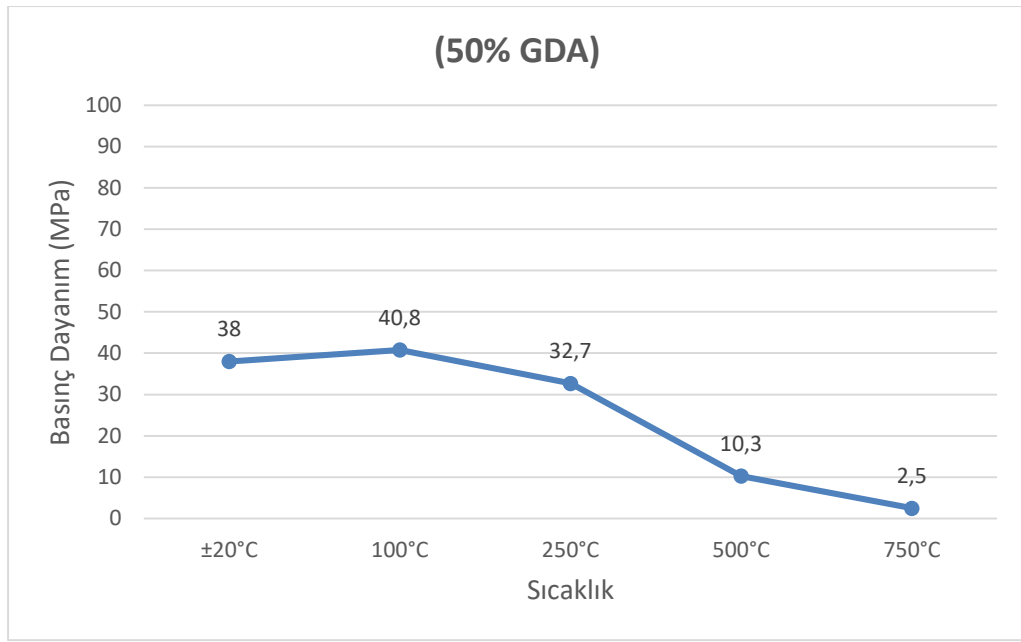
Şekil 35. 750°C’de numunelere verilen hasar derecesi



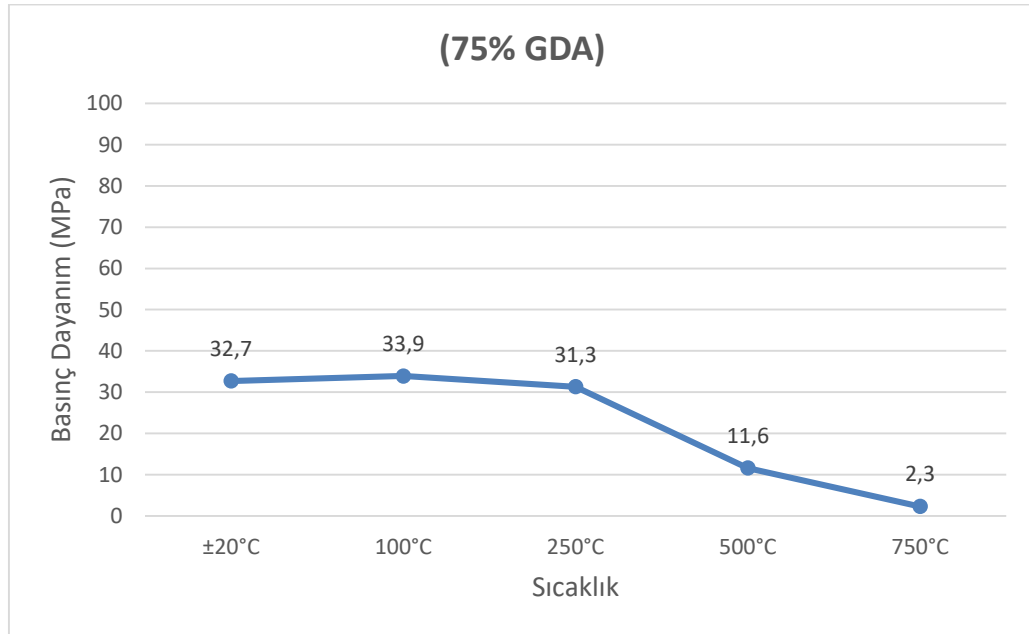
Şekil 36. (%0 GDA) ‘da basınç dayanım sonuçları



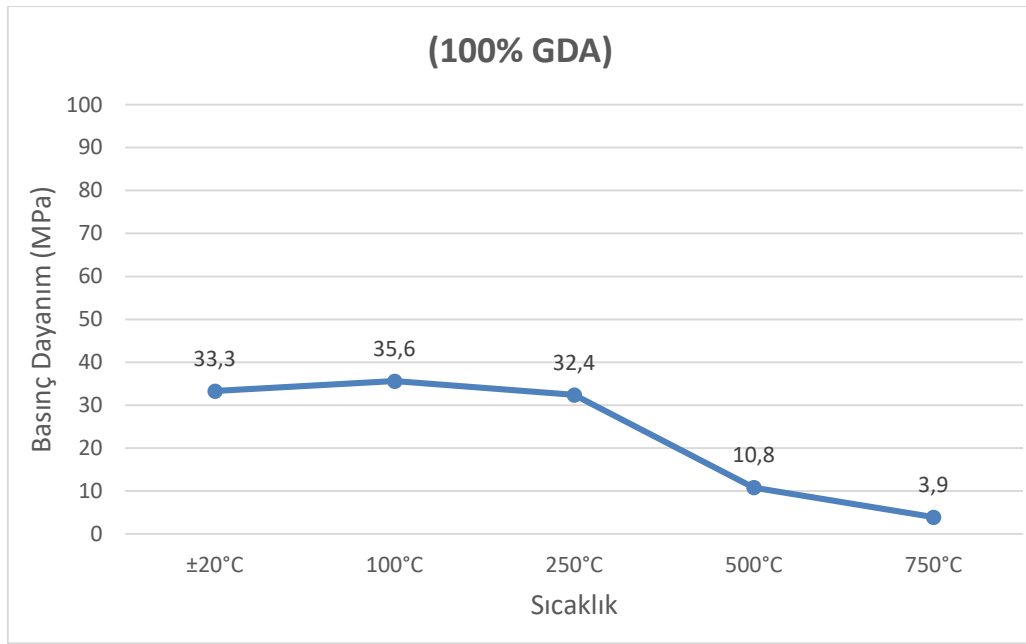
Şekil 37. (%25 GDA) ‘da basınç dayanım sonuçları



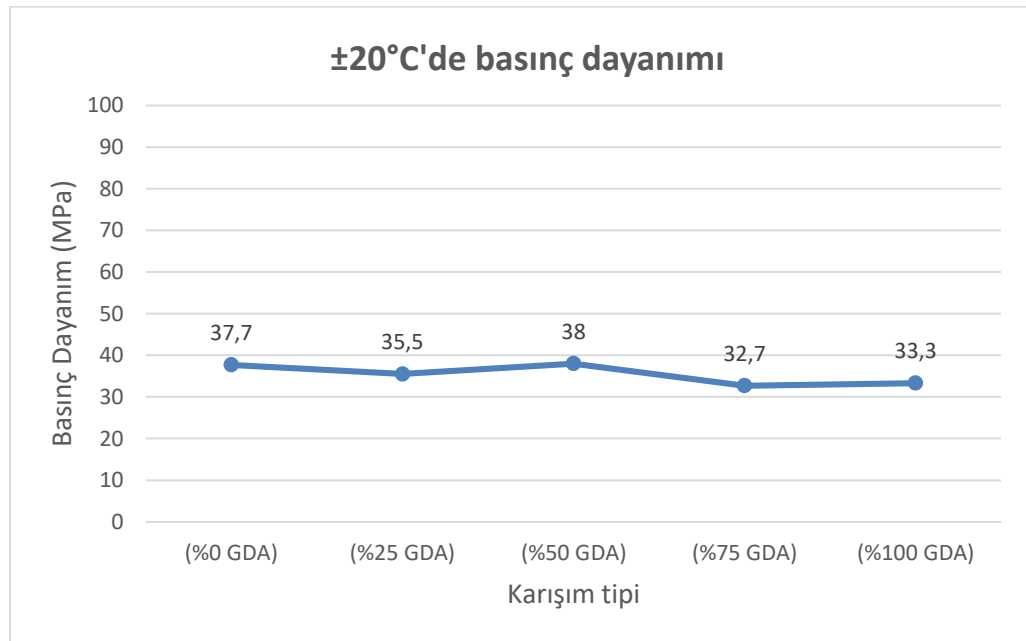
Şekil 38. (%50 GDA) ‘da basınç dayanım sonuçları



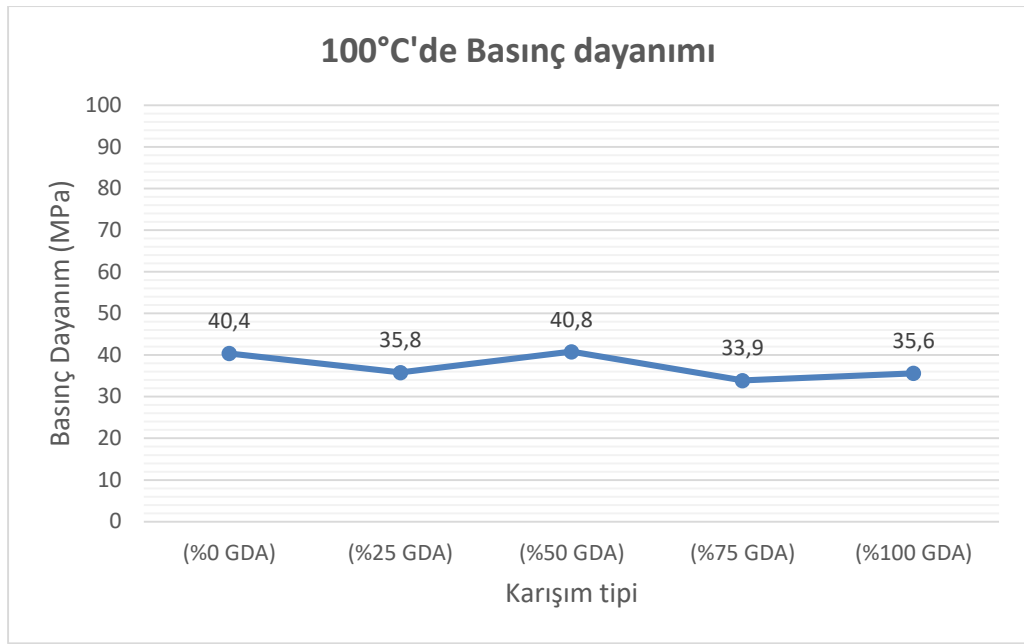
Şekil 39. (%75 GDA) ‘da basınç dayanım sonuçları



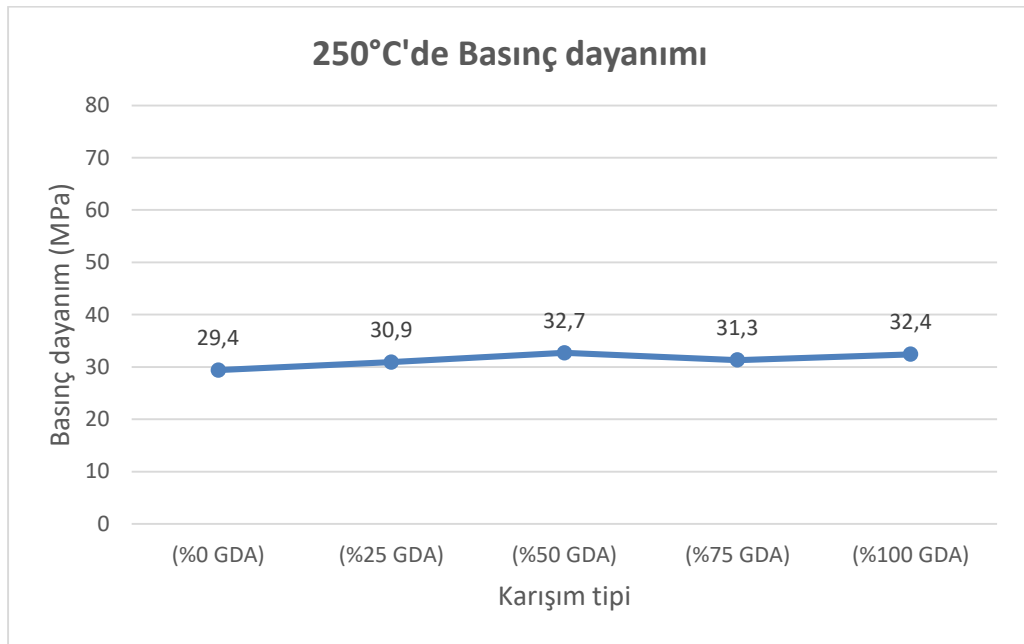
Şekil 40. (%100 GDA) 'da basınç dayanım sonuçları



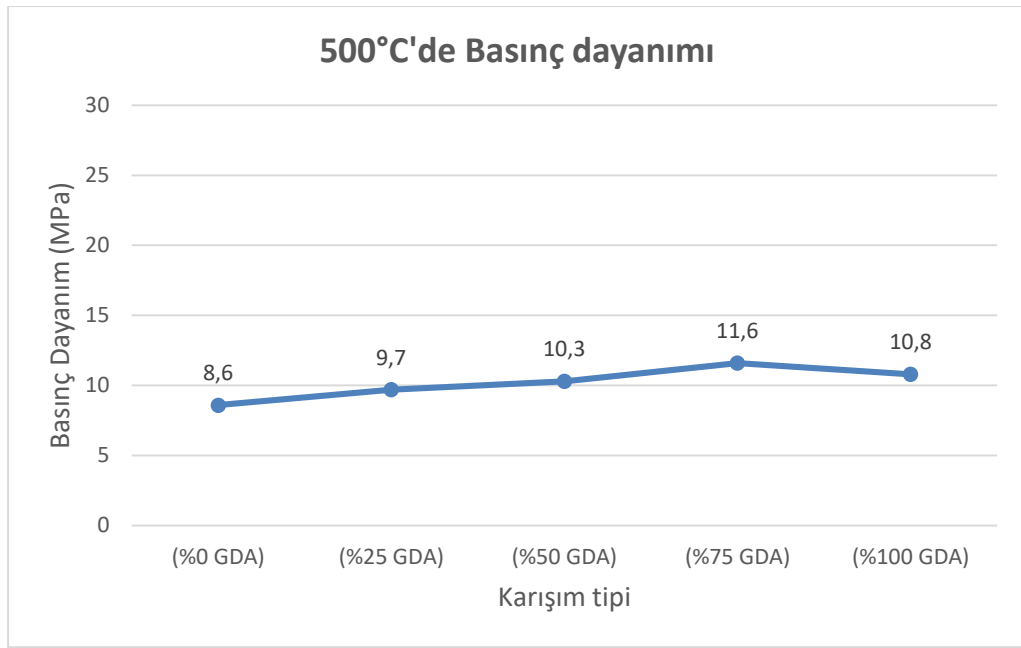
Şekil 41. ±20°C'de basınç dayanım sonuçları



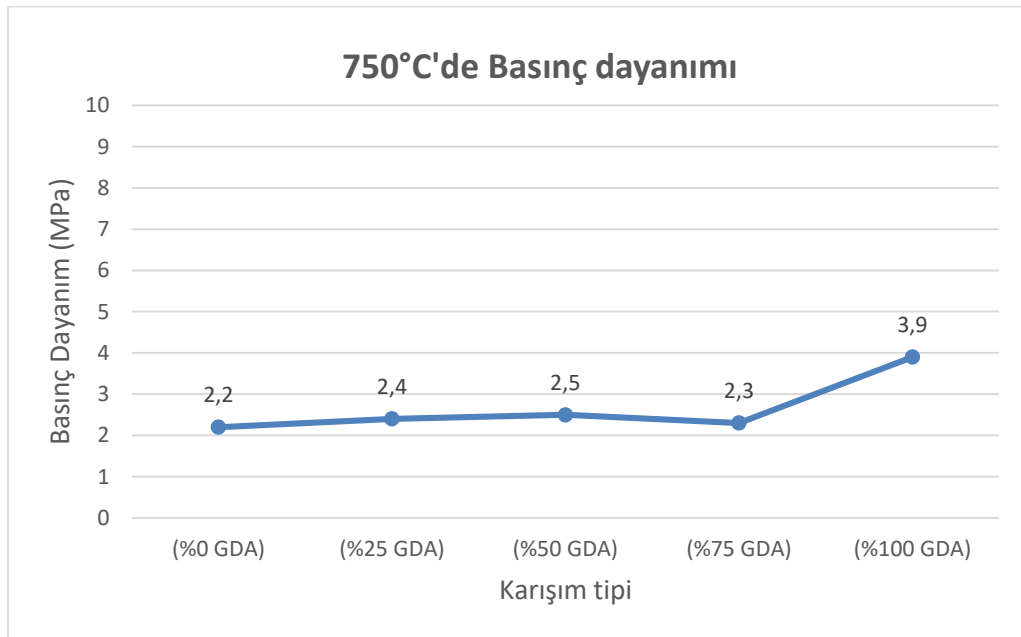
Şekil 42. 100°C'de basınç dayanım sonuçları



Şekil 43. 250°C'de basınç dayanım sonuçları



Şekil 44. 500°C’de basınç dayanım sonuçları



Şekil 45. 750°C de basınç dayanım sonuçları

100°C yüksek sıcaklığa maruz bırakılan basınç dayanımı, (%0 GDA) numune oda sıcaklığından basınç dayanım değerleri %7.1 arttırdı. 250°C, 500°C, 750°C sıcaklığında tabi tutulan numunelerde ise sırasıyla %22, %77.1, %94.1 basınç dayanımında azalması meydana geldi (Şekil 36).

100°C yüksek sıcaklığa maruz bırakılan basınç dayanımı, (%25 GDA) numune oda sıcaklığından basınç dayanım değerleri %0.8 arttırdı. 250°C, 500°C, 750°C sıcaklığında tabi tutulan numunelerde ise sırasıyla %12.9, %72.6, %93.2 basınç dayanımında azalması meydana geldi (Şekil 37).

100°C yüksek sıcaklığa maruz bırakılan basınç dayanımı, (%50 GDA) numune oda sıcaklığından basınç dayanım değerleri %7.3 arttırdı. 250°C, 500°C, 750°C sıcaklığında tabi tutulan numunelerde ise sırasıyla %13.9, %72.8, %93.4 basınç dayanımında azalması meydana geldi (Şekil 38).

100°C yüksek sıcaklığa maruz bırakılan basınç dayanımı, (%75 GDA) numune oda sıcaklığından basınç dayanım değerleri %3.6 arttırdı. 250°C, 500°C, 750°C sıcaklığında tabi tutulan numunelerde ise sırasıyla %4.3, %64.5, %93 basınç dayanımında azalması meydana geldi (Şekil 39).

100°C yüksek sıcaklığa maruz bırakılan basınç dayanımı, (%100 GDA) numune oda sıcaklığından basınç dayanım değerleri %6.9 arttırdı. 250°C, 500°C, 750°C sıcaklığında tabi tutulan numunelerde ise sırasıyla %2.7, %67.5, %88.2 basınç dayanımında azalması meydana geldi (Şekil 40).

Numuneler oda sıcaklığına maruz bırakıldığında, (%0 GDA) numunesinde basınç dayanım değeri 37.7 MPa, (%25 GDA) numunesinde basınç dayanım değeri 35.5 MPa, (%50 GDA) numunesinde basınç dayanım değeri 38 MPa ve (%75 GDA) numunesinde basınç dayanım değeri 32.7 MPa, (%100 GDA) numunesinde basınç dayanım değeri 33.3 MPa olmaktadır (Şekil 41).

Numuneler 100°C sıcaklığa maruz bırakıldığında, (%0 GDA) numunesinde basınç dayanım değeri 40.4 MPa, (%25 GDA) numunesinde basınç dayanım değeri 35.8 MPa, (%50 GDA) numunesinde basınç dayanım değeri 40.8 MPa ve (%75 GDA) numunesinde basınç dayanım değeri 33.9 MPa, (%100 GDA) numunesinde basınç dayanım değeri 35.6 MPa olmaktadır (Şekil 42).

Numuneler 250°C sıcaklığa maruz bırakıldığında, (%0 GDA) numunesinde basınç dayanım değeri 29.4 MPa, (%25 GDA) numunesinde basınç dayanım değeri 30.9 MPa, (%50 GDA) numunesinde basınç dayanım değeri 32.7 MPa ve (%75 GDA) numunesinde basınç dayanım değeri 31.3 MPa, (%100 GDA) numunesinde basınç dayanım değeri 32.4 MPa olmaktadır (Şekil 43).

Numuneler 500°C sıcaklığa maruz bırakıldığında, (%0 GDA) numunesinde basınç dayanım değeri 8.6 MPa, (%25 GDA) numunesinde basınç dayanım değeri 9.7 MPa, (%50

GDA) numunesinde basınç dayanım değeri 10.3 MPa ve (%75 GDA) numunesinde basınç dayanım değeri 11.6 MPa, (%100 GDA) numunesinde basınç dayanım değeri 10.8 MPa olmaktadır (Şekil 44).

Numuneler 750°C sıcaklığa maruz bırakıldığında, (%0 GDA) numunesinde basınç dayanım değeri 2.2 MPa, (%25 GDA) numunesinde basınç dayanım değeri 2.4 MPa, (%50 GDA) numunesinde basınç dayanım değeri 2.5 MPa ve (%75 GDA) numunesinde basınç dayanım değeri 2.3 MPa, (%100 GDA) numunesinde basınç dayanım değeri 3.9 MPa olmaktadır (Şekil 45).

Saberian et al. (2019), “Yüksek sıcaklık altında kırıntı kauçukla karıştırılmış geri dönüştürülmüş beton agregası” konulu çalışmalarında; yüksek sıcaklık ortamının %0,5-2 aralığında kırıntı kauçuk ile karıştırılmış geri dönüştürülmüş beton agregasının (GDA) mekanik özellikleri üzerindeki etkileri hem deneysel hem de teorik olarak incelemişlerdir. 20°C ile 600°C arasında değişen farklı sıcaklıklara ısıtılan karışık numuneler üzerinde serbest basınç dayanımı ve X-ışını mikro-tomografi testleri yapılmıştır. Deneysel sonuçlardan basınç dayanımının 300 °C 'ye kadar bir sıcaklıkta arttığı gözlemlendi. 20 °C ortam sıcaklığında, kırıntı kauçuk eklenmemiş GDA numuneleri en yüksek basınç dayanımı değeri sergilerken, yüksek sıcaklıkta, %1 kırıntı kauçuklu GDA numuneleri en yüksek dayanım değerine sahiptir. Kırıntı kauçuğuyla karıştırılan GDA mukavemeti, kırıntı kauçuğun erime süreçlerine atfedilebilen, 150°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda artan bir eğilim göstermiştir. X-ışını mikro-tomografi testlerine göre, kauçuğun dahil edilmesi gözenekliliğin azalmasına neden olmuştur. Sıcaklık 20°C 'den 150°C 'ye yükseldiğinde gözenekliliğin arttığını gözlemlemek ilginçtir. Ayrıca sıcaklık 150°C den 450°C ye yükseldiğinde eriyen kauçuk parçacıkları boşluklara akarak daha fazla gözenek doldurduğu için gözeneklilik azalmıştır.

Ataman (1991), yangına maruz kalan betonun mekanik özelliklerini belirlemek için yüksek sıcaklığın betonun basınç dayanımları ve eğilme üzerindeki etkilerini incelemiştir. Agregaların genleşmesi, çimentonun büzülmesi, beton boşluklarında ve çimento birleşimindeki suyun hidratasyonu gibi fiziksel ve kimyasal olaylar sonucunda betonun eğilme ve basınç dayanımının azaldığı belirlenmiştir.

Hansen (1992) çalışmasında, GDA ve normal agregası kullanarak üretilen beton numunelerin basınç dayanımı sonuçlarını karşılaştırmıştır. GDA ile üretilen numune dayanımlarının, normal agregası ile üretilen numunelere kıyasla %5 ile %24 oranları arasında daha düşük bir değer elde ettiğini belirtmiştir.

(Francisco et al. 2020)'nin çalışmalarında, geri dönüşüm agregalarının (%25, %50 ve %100 ikame yüzdeleri ile) iri agregası ile ikamesi incelenmiş ve betonun yüksek sıcaklıklara

(350°C ile 850°C arası) maruz kaldıktan sonra basınç dayanımı ve kılcal su emme testleri yapılmıştır. Geri dönüştürülmüş agrega içeriği fazla olan betonlarda daha yüksek dayanım değerleri elde etmişlerdir.

(Maria *et al.* 2022) çalışmalarında, geri dönüştürülmüş agrega içeren betonların basınç dayanımı üzerinde yüksek sıcaklığın etkisini analiz etmeyi amaçlamışlardır. İnşaat ve yıkım atıkları olarak bilinen duvar, karma ve beton atık ürünleri, doğal malzemenin kısmi ikamesi olarak %20 veya %30 oranlarında kullanılmıştır. Numuneler daha sonra 20°C, 350°C ve 500°C'de sıcaklıklara maruz bırakıldıktan sonra basınç dayanımı için test edilmiştir. Bulgular, 350°C'de %20 duvar atığı içeren malzemelerde basınç dayanımının %21 azaldığını, karışık geri dönüştürülmüş beton atıkları içeren malzemelerdeki düşüş %0 ile %5 arasında değiştiğini gözlemlemişlerdir. Doğal agrega yerine %30 duvar atığı içeren beton, 500°C'de %32'lik bir dayanım kaybı sergilerken, aynı koşullar altında incelenen diğer malzemelerdeki kayıp %9,5'i geçmemiştir. Isı stresi altında en yüksek performans, %20 geri dönüştürülmüş agrega karışımı içeren betonlarda gözlenmiştir.

Numuneler, $\pm 20^\circ\text{C}$ 'de test edilen numunelere kıyasla betondaki hidratasyon reaksiyonundaki artıştan dolayı 100°C sıcaklıkta basınç dayanımında bir artış göstermektedir. 250°C sıcaklıkta basınç dayanımında hafif bir düşüş gösterdi ve %100 GDA içeren numune farklı yüzdelerde geri dönüştürülmüş agrega içeren numunelerden daha yüksek dayanım elde edildi. Numunelerde 250°C'de gözle görülebilecek herhangi bir hasar meydana gelmediği gözlemlendi. 500°C sıcaklıkta tüm numunelerde basınç dayanımında düşüşler meydana geldi. %100 kırmataş içeren numune 500°C en çok etkilenen numune grubu olmuştur ki bu da geri dönüşümlü agregaların yüksek sıcaklıklardaki etkin rolünü göstermektedir. 750°C sıcaklıkta tüm numunelerde betonun yapısı bozuldu ve çok düşük basınç dayanımı değerleri gösterdi.

SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu tez çalışmasının amacı, hazır beton laboratuvarındaki basınç dayanımına tabi tutulan 28 günlük beton numunelerin öğütülerek geri dönüşüm işlemleri sonucunda elde edilen geri dönüşüm agregasının (GDA) farklı oranlarda kullanılarak üretilen beton numuneler ile kırmataş agregası (KTA) kullanılarak üretilen beton numunelerin 28 günlük yüksek sıcaklıktan sonra kılcal su emme ve basınç dayanım testleri karşılaştırmaktır.

GDA oranı arttıkça işlenebilirlik az miktarda azalmaktadır. Bütün gruplar kıvam sınıfı S2 olan 5-9 cm aralığında çıkmıştır.

GDA oranı arttıkça birim hacim ağırlığı azalmaktadır. (%0 GDA), (%25 GDA), (%50 GDA), (%75 GDA) ve (%100 GDA) karışımlarının birim hacim ağırlığı sırasıyla 2014.3 kg/m³, 1999.0 kg/m³, 1983.5 kg/m³, 1968.0 kg/m³ ve 1952.7 kg/m³ olarak belirlenmiştir. GDA özgül ağırlığının düşük olması nedeniyle, Pomza özgül ağırlığı: 1.65 g/cm³, GDA özgül ağırlığı: 2.47 g/cm³, KTA özgül ağırlığı: 2.68 g/cm³.

Numuneler $\pm 20^{\circ}\text{C}$, 100°C , 250°C , 500°C ve 750°C sıcaklığa maruz bırakıldı. Numuneler her sıcaklıkta 180 dakika kadar kaldı. $\pm 20^{\circ}\text{C}$ 'de ve 100°C 'de herhangi bir değişiklik gözlemlenmedi. Sıcaklık 250°C 'ye çıkarıldığında ise çok az miktarda etkilenecek kadar az miktarda çatlaklar meydana geldi. 500°C 'ye arttırdığında çok fazla çatlaklar ve boşluklar oluştu. 750°C 'ye arttırdığında ise numuneler hasar almıştır. $\pm 20^{\circ}\text{C}$ 'de ve 100°C 'de herhangi bir renk değişimi gözlemlenmemiştir, 250°C çok Açık pembe bir renge değişmiştir, 500°C 'de renk değişimi gözle görülebilecek kadar pembe renge değişimi gözlenmiştir, 750°C 'de gri renk değişimi görülmüş ve numune fiziksel olarak zarar almıştır.

Bütün numuneler aynı ortamda $\pm 20^{\circ}\text{C}$, 100°C , 250°C , 500°C ve 750°C sıcaklığa maruz bırakılmıştır. Maruz bırakılan sıcaklıklarda numunelerin kılcal su emme değerleri hesaplanmıştır.

Su/çimento oranının 0,5'ten küçük olması boşluk yüzdesinin daha az olmasına neden olmuştur. Bu çalışmada kullanılan beton numunelerdeki kılcal su emme oranları oda sıcaklığında birbirine yakın değerler vermiştir. Ancak sıcaklığın artmasıyla birlikte betonda çatlaklar ve hasarlar oluşmakta ve bu da kılcal su emmede artışa neden olmaktadır.

sonuçlara göre, 100°C yüksek sıcaklığa maruz bırakılan basınç dayanımı, oda sıcaklığından basınç dayanım değerleri arttırdı. 250°C, 500°C, 750°C sıcaklığında tabi tutulan numunelerde basınç dayanımında azalması meydana geldi.

sonuç olarak Numuneler, $\pm 20^\circ\text{C}$ 'de test edilen numunelere kıyasla betondaki hidratasyon reaksiyonundaki artıştan dolayı 100°C sıcaklıkta basınç dayanımında bir artış göstermektedir. 250°C sıcaklıkta basınç dayanımında hafif bir düşüş gösterdi ve %100 GDA içeren numune farklı yüzdelerde geri dönüştürülmüş agrega içeren numunelerden daha yüksek dayanım elde edildi. (% 0 GDA) ve (% 50 GDA) içeren grup, $\pm 20^\circ\text{C}$ ve 100°C'lik bir sıcaklıkta yakın basınç dayanım değerleri gösterdi. Numunelerde 250°C'de gözle görülebilecek herhangi bir hasar meydana gelmediği gözlemlendi. 500°C sıcaklıkta tüm numunelerde basınç dayanımında düşüşler meydana geldi. %100 kırmataş içeren numune 250°C ve 500°C en çok etkilenen numune grubu olmuştur ki bu da geri dönüşümlü agregaların yüksek sıcaklıklardaki etkin rolünü göstermektedir. 750°C sıcaklıkta tüm numunelerde betonun yapısı bozuldu ve çok düşük basınç dayanımı değerleri gösterdi.

KAYNAKLAR

- Aasanipour , H., & Aslani, F. (2019). Effect of specimen shape, silica fume, and curing age on drability proopies of self-compacting concrete aggregates. *Construction and Building Materials*.
- Abbas, A., Fathifazl, G., Isgor, O. B., & Foo, S. (2009). Durability of recycled aggregate concrete design with equivalent mortar volume method. *Cement & Concrete Composites*, s. 555-563.
- Abhijeet, B. (2014). A Review on Green Concrete. *JETIR*.
- ACI-213R-03. (2003). Guide for structural lightweight-aggregate concrete. in: American Concrete Institute Farmington Hills.
- Aiyewalehinmi, E. O., & Adeoye, T. E. (2016). Recycling Of Concrete Waste from Construction Demolition. *American journal of Engineering Research (AJER)*, s. 182-191.
- Ataman, R. (1991). Beton Yapıların Yangın Dayanımlarının İncelenmesi. Y.Lisans Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Çelikten , S. (2019). *Alkali ile aktive edilmiş hafif betonların Özelliklerinin Araştırılması*. Niğde ömer halisdemir üniversitesi fen bilimleri enstitüsü doktora tezi.
- Demirel, C., & Şimşek, O. (2014). C30 sınıfı atık betonun geri dönüşüm agregası olarak beton üretiminde kullanılabilirliği. *S.Ü. Mühendislik Bilim ve Teknik Dergisi*, 2(2),45-54.
- Doğan, Z. (2019). Beton çimento kum çakıl. zonguldak.
- Durmuş, G., Şimşek, O. ve Dayı, M. (2008). Geri dönüşümlü iri agregaların beton özelliklerine etkisi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 29(1), 183-189.
- Demir, İ. (2009). İnşaat Yıkıntı Atıklarının Beton Üretiminde Kullanımı ve Beton Özelliklerine Etkisi. Afyon Karahisar Üniversitesi, Fen Bilimleri Dergisi 2009-02 105-114. Afyonkarahisar.
- Erdoğan, T. Y. (2007). Beton, Genişletilmiş 2. Baskı, Odtü Yayıncılık, Ankara. European Aggregates Association (UEPG), 2006. Aggregates from Construction &Demolition Waste in Europe, http://www.uepg.eu/uploads/documents/pub-12_enplaquette.pdf.
- Georgali, B., & Tsakiridis, P. E. (2005). Microstructure of Fire-Damaged Concrete. *Cement and Concrete Composites*, s. 255-259.
- Hansen, T.C. (1992). Recycling of Demolished Concrete and Masonry, First Edition, Taylor and Francis Book Co., Oxon.
- Holm, T. A., & Ries, J. P. (2006). Lightweight concrete and aggregates, in: Significance Tests Prop. Coner.Coner.Mater. *ASTM International*.
- Jian-he, X., Yong-chang, G., Li-sha, L., & Zhi-hong, X. (2021). Compressive and flexural behaviours of a new steel-fibre reinforced recycled aggregate concrete with crumb rubber. *Construction and Building Materials*, s. 263-272.
- Kızılkant, A. B., & Yüzer, N. (2008). Yüksek Sıcaklık Etkisindeki Harcın Basınç Dayanımı-Renk Değişimi İlişkisi. *İMO Teknik Dergi*, s. 4381-4392.
- Kaldı, C. (2011). ,Taşıyıcı Hafif Beton Tasarımı ve Çok Katlı Binalarda Kullanımı. İzmir: Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Lamond, J. F., & Pielert, J. H. (2006). ,Significance of tests and properties of concrete and

concrete making materials. in: ASTM West Conshohocken.

- Maciá, María Eugenia; Castillo, Ángel; Martinez, Isabel; Rubiano, Francisco José. (2022). *High-Temperature Residual Compressive Strength in Concretes Bearing Construction and Demolition Waste (CDW): An Experimental Study*.
- Marinković, S., Radonjanin, V., Malešev, M., & Ignjatović, I. (2010, November). Comparative environmental assessment of natural and recycled aggregate concrete. *Waste Management*, s. 2255-2264.
- Mehta, P. K. (2002). Greening of the concrete industry for sustainable development. *Concrete International*, 24(7),23-28.
- Özgan, E. (2005). Kırmataş Agregası İçerisindeki Taş-Unu Miktarının Betonun Basınç Dayanımına Etkisi. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 21 (1-2), s. 198-205.
- Peng, C., Scorpio, D., & Kibert, C. (1997). Strategies for successful construction and demolition waste recycling operations. *Journal of Construction Management and Economics*, s. 49-58.
- Postacıoğlu, B. (1987). Beton Cilt 1. İstanbul: Matbaa Teknisyenleri Basımevi.
- Saberian, Mohammad; Shi, Long; Sidiq, Amir; Setunge, Sujeeva; Li, Chun-Qing. (2019). Recycled concrete aggregate mixed with crumb rubber under elevated temperature. *Construction and Building Materials*.
- Suhaendi, S. L. (2006). *Residual Strength and Permeability of Hybrid Fiber Reinforced High Strength Concrete Exposed to High Temperature*, Candidate for the Degree of Master. Japan: Department of Civil Engineering, Hokkaido University.
- Tanrıöven, F. (2009). *Yüksek sıcaklık etkilerindeki Karma Lifli Betonların Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi*. Kayseri: Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü . Yüksek Lisans Tezi.
- Topcu, B. I. And Guncan, F. N. (1995). “Using waste concrete as aggregate”, *Cement and Concrete Research*, 25:1385–1390.
- TS 802, 2016. Beton karışım tasarımı hesap esasları.
- TS 1226 ISO 3310 – 2, 1996. Deney elekleri - Teknik özellikler ve deneyler - Kısım 2: Delikli metal levhalı deney elekleri.
- TS 1227 ISO 3310 – 1, 1996. Deney elekleri - Teknik özellikler ve deneyler - Kısım 1: Tel örgülü deney elekleri.
- TS EN 197–1, 2002. Çimento- Bölüm 1: Genel çimentolar- Bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri.
- TS EN 206+A2, T. E, 2021. Beton- Bölüm 1: Özellik, performans, imalat ve uygunluk.
- TS EN 933 – 2, 1996. Agregaların geometrik özellikleri için deneyler kısım 2: Tane boyutu dağılım tayini-Deney elekleri, elek göz açıklıklarını anma büyüklükleri.
- TS EN 1925, 2000. Doğal taşlar- Deney metotları- Kılcal etkiye bağlı su emme katsayısının tayini.
- TS EN 12350-2, 2019. Beton - Taze beton deneyleri - Bölüm 2: Çökme (slump) deneyi .
- Torring, M. (2000). Management of concrete demolition waste. *Concrete technology*, (s. 321-331). Londra, Newyork: E&FN.
- Varona, Francisco B; Baeza-Brotons, Francisco; Tenza-Abril, Antonio J; Baeza , Javier F;

- Bañón, Luis. (2020). Residual Compressive Strength of Recycled Aggregate Concretes after High Temperature Exposure.
- Wioletta, a.-R., Mariusz, T., Artur, K., Jerzy, G., Ritoldas, s., & Tomasz, D. (2016). Effects of High Temperature on the Properties of High Performance Concrete(HPC). *Modern Building Materials, Structures and Techniques MBMST*, s. 256-263.
- Yüzer, N., Aköz, F., & Öztürk, L. D. (2004). Compressive Strength–Color Change Relation in Mortars at High Temperature. *Cement and Concrete Research*, s. 1803-1807.
- Yeğınobalı, A. (1997). Hafif Beton ve Yüksek Dayanımlı Hafif Beton. *Çimento ve Bet. Dünyası Derg.*.
- Zhao, Hui; Liu, Faqi; Hua, Yang. (2020). Residual compressive response of concrete produced with both coarse and fine recycled concrete aggregates after thermal exposure.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı:	Mounzer KHIR ALLAH
Doğum tarihi:	
Doğum Yeri:	
Uyruğu:	
Adres:	
Tel:	
E-mail:	
Eğitim	
Lise:	Alfateh Lisesi
Lisans:	Yakındoğu Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği
Yüksek lisans:	Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü inşaat mühendisli Yapı Malzemeleri
Yabancı Dil Bilgisi	
İngilizce, Türkçe, Arapça	