



Melek Akgül

Munzur University, melekakgul@munzur.edu.tr, Tunceli-Türkiye

DOI	http://dx.doi.org/10.12739/NWSA.2024.19.3.1A0490
ORCID ID	0000-0001-8815-3762
Corresponding Author	Melek Akgül

OLİVİN İKAMELİ BETONLARIN YÜKSEK SICAKLIK SONRASI DEĞERLENDİRMESİ

ÖZ

Bu deneysel çalışmada portland çimentoya ikame edilen olivin atığı (OA)'nın yüksek sıcaklık sonrası beton numunelerin basınç dayanımına etkisi araştırılmıştır. Değerlendirmede ana parametreler 5 farklı Su/Bağlayıcı (S/B) oranı, 3 farklı OA miktarı ve yüksek sıcaklıktır. 28 gün standart su kürü sonrası referans grubu ve yüksek sıcaklık uygulanan 2 beton grubu ile basınç dayanımı deneyi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca mikroyapı analizi değerlendirmeleri X-ışını Difraktometresi (XRD) verilerden sağlanmıştır. Çalışma sonuçlarına göre; S/B oranının basınç dayanımı üzerinde etkisi OA ikame edilmeyen gruplarda doğrusal, diğer gruplarda değişken bir eğilim izlemektedir. OK'nın tüm ikame durumları 275°C sıcaklık sonrası basınç dayanımını arttırıcı niteliktedir. Ayrıca 550°C sonrası tüm beton serilerinde basınç dayanımı referans grubuna göre yaklaşık %6.6-42.4 mertebesinde azalmıştır.

Anahtar Kelimeler: Olivin atığı, Basınç Dayanımı, Yüksek Sıcaklık, Mikroyapı, Beton

EVALUATION OF OLIVINE SUBSTITUTED CONCRETES AFTER HIGH TEMPERATURE

ABSTRACT

This experimental study investigated the effect of Olivine waste (OA) substituted into portland cement on the compressive strength of concrete specimens after high temperature. The main parameters of the evaluation were 5 different Water/Binder (W/B) ratios, 3 different OA amounts and high temperature. After 28 days of standard water curing, compressive strength tests were carried out with the reference group and 2 concrete groups with high temperature treatment. microstructural analysis evaluations were also obtained from X-ray Diffractometer (XRD) data. According to the results of the study; the effect of S/B ratio on compressive strength follows a linear trend in the groups without OA substitution and a variable trend in the other groups. All substitution conditions of OA increase the compressive strength after 275°C. In addition, after 550°C, the compressive strength of all concrete series decreased by approximately 6.6-42.4% compared to the reference group.

Keywords: Olivine waste, Compressive strength, High Temperature, Microstructure, Concrete

How to Cite:

Akgül, M., (2024). Olivin ikameli betonların yüksek sıcaklık sonrası değerlendirilmesi. 19(3):26-38, DOI: 10.12739/NWSA.2024.19.3.1A0490.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

İnşaat sektöründeki birçok yapı elemanı beton esaslı sistemlere dayanır. Bu sistemlerdeki birincil ana bileşen ise çimentodur [1]. Çimento üretim süreci son çalışmalar ışığında sürdürülebilir ve çevreci kabul edilmemektedir. Bu amaçla çimentoya ikame ürün arayışı kaçınılmazdır. OA'da çimentoya ikame olarak değerlendirilen önemli bir mineral atığıdır. Olivin, Dünit'in ana bileşenidir ve silikat grubunda yer alır. Ortorombik sisteminde kristalleşen olivin grubu mineraller esas olarak Mg^{+2} ve Fe^{+2} silikatlardan oluşur. Mg^{+2} ve Fe^{+2} in baskın olduğu uç mineraller Mg_2SiO_4 (Forsterit) ve $FeSiO_4$ (Fayalit)'dir [2]. Çevre dostu ve durabilitesi yüksek kabul edilen olivinin kimyasal formülü $(Mg, Fe)_2 SiO_4$ 'dir [3]. Çok sayıda uç minerali var olsa da forsterit ve fayalit dışındaki olivin mineralleri doğal formada çok yaygın değildir. Ayrıca doğada tamamen forsterit ve fayalitten oluşan mineral miktarı sınırlıdır. Olivin genellikle yeşil renktedir ve sertliği Mohs'un kıstasına göre 6.5-7'dir. Yoğunluğu 3.22 ile 4.40gr/cm³ aralığında olan olivinin içeriğindeki Fe miktarı yoğunluğu üzerinde önemli bir etkindir [2]. Bu hali ile olivin tarımdan cam sanayine; dökümden metalürjiye kadar birçok alanda kullanılmaktadır [3, 4 ve 5].

Olivin, yüksek erime noktasına (1700°C) sahiptir [6] ve endüstride kireçtaşı, dolomit ve silis kumunun yerine kullanılmaktadır [7]. Olivin entegre demir-çelik fabrikalarında cüruf düzenleyicisi ve sinterleşme derecesini düşürmek için kullanılır [2]. Özellikle çelik üretiminde aynı üretim süreci için ihtiyaç duyulan olivin miktarı, dolomit ve silisten daha azdır, bu da açığa çıkan cüruf miktarının azalması anlamına gelir. Açığa çıkan cüruf atığının ekonomik yükü ve bertaraf problemlerini minimize eden olivin esaslı sistemler, ayrıca silikoz hastalığı riskini arttıran ve atmosfere salınan serbest silis miktarını da dolaylı olarak azaltır [7]. Olivin madeni işlenirken açığa çıkan olivin atığı önemli bir sanayi yan ürünüdür ve inşaat sektöründe sürdürülebilir ve çevreci süreçler ile tekrar kullanılabilme potansiyeline sahiptir. İlgili standartlar [8-10] ışığında değerlendirildiğinde OA'nın çimentoya ikame olarak kullanımı, çimento üretim sürecinin sebep olduğu çevre sorunlarını ve ekonomik yükü azaltacak potansiyelindedir [11]. OA'nın korozif ortam ve alkali silika reaksiyonu direnci yüksektir ve bu da son yıllarda araştırma konusu olma potansiyelini arttırmaktadır [11, 12 ve 13].

Beton, düşük termal iletkenlik, alev almazlık ve artan sıcaklık ile az miktarda gerilme değişimleri göstermesine bağlı olarak iç çekirdekte herhangi bir bozulma göstermeyen ve bu hali ile de yük taşıma performansı gösteren bir yapı malzemesi olarak kabul edilir. Ancak tüm bu kabullere rağmen yüksek sıcaklık ve yangına maruz kalan betonun mekanik performansını düşürecek nitelikte mikro ve makro düzeyde yapısal bozulmalar olmaktadır [14 ve 15]. Yüksek sıcaklık beton elemanların fiziksel, mekanik ve durabilite sorunlarının bir ya da birkaçına sebep olabilecek düzeyde etkili olabilir [16]. Yüksek sıcaklık sonrası betonun basınç dayanımı ve elastisite modülündeki azalmalar ilerleyen süreçte betonda çatlak oluşumu, dağılma ve kabuk atma; betonarme çeliğinde ise akma dayanımı, duktilite ve çekme dayanımında kayıp meydana gelmektedir [17]. Betonun yüksek sıcaklık sonrası performansı beton karışım tasarımı ve yapının türüne bağlıdır. Yangından zarar görmüş beton yapıların değerlendirilmesi genellikle renk değişimi, çatlama ve dökülmenin görsel olarak gözlemlenmesiyle başlar [18]. Beton 500-600°C'de büyük hasarlar almaya başlasa da beton bileşenlerinin yani çimentonun, S/C oranının ve kullanılan agreganın özellikleri yüksek sıcaklık performansını büyük ölçüde etkiler [19 ve 20]. Ayrıca betonarme donatısında statik zayıflama ve çökme için kritik sıcaklık yaklaşık 600°C'dir [21]. Genellikle betonda yüksek sıcaklık etkisi çalışmaları, yüksek sıcaklık altındaki betonun yapısında meydana gelen gerilme ve şekil değiştirmeleri BS EN 13501-1

[22] ve ISO 834'ın [23] öngördüğü kriterleri esas alarak değerlendirir. Standartlara göre gerçek yangın ortamı olan 20-1000°C sıcaklık arasında ve 15-300 dk süre içerisinde oluşmaktadır [24]. Çimento hamurundaki serbest su 100°C'de buharlaşır. Hidrasyon ürünleri olan C-S-H'lerde bağlı su kaybı 100°C'de başlar ve sıcaklık 400°C'ye ulaşana kadar devam eder. Bu sebeple 300°C'nin altındaki sıcaklıklarda çimento hamurunda büyük mukavemet kayıpları oluşmaz [25]. Sıcaklık 400°C'nin üzerinde seyrettiğinde ise hidrasyon ürünleri dehidrasyona uğrar ve yüksek sıcaklığa bağlı termal deformasyonlar, fiziksel bozulmalar ve mukavemet kaybı başlar. Çoğu zaman %70'e varan mukavemet kayıpları için 700°C'ye varan sıcaklık öngörülür. Ancak bu durum mineral ve kimyasal katkıların kullanımına bağlı olarak değişiklik göstermektedir [21 ve 26]. Betonda yüksek sıcaklık çimento hamuru ve agrega fazı üzerinde etkilidir. Bu sebeple performans kayıplarını azaltmak için genellikle yüksek sıcaklığa dayanıklı agrega ve mineral katkıları kullanılmaktadır [14 ve 27]. Çimentoya ikame olarak kullanılan mineral katkıları çoğu zaman puzolanik özelliğe sahiptir ve harçtaki boşluk oranını azaltarak mukavemetini arttırmak esas amaçtır [21]. Kalsiyum hidroksit (C-H) ile reaksiyona girerek, mikro gözenekleri dolduran bu ikame ürünler ayrıca agrega ile harç matrisi arasında bulunan geçiş bölgesini iyileştirir ve mikro yapıyı destekler [26].

2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)

Çimento üretimine bağlı çevre sorunları ve ekonomik yükü azaltmak için OA'nın değişim ürünü olarak kullanımı önemlidir. Bu amaçla çalışma hem OA'nın farklı S/B oranlarındaki basınç dayanımını değerlendirmekte hem de yüksek sıcaklık sonrası karşılaştırmalar sunmaktadır.

Önemli Noktalar (Highlights):

- Olivin atığıyla üretilen betonun basınç dayanımı değerlendirildi.
- Olivin atığı ikamesinden sonra yüksek sıcaklığın beton üzerindeki etkisi araştırıldı.
- Farklı S/C oranıyla üretilen betonlar üzerinde yüksek sıcaklığın ve olivin atığının etkisi araştırıldı.

3. DENEYSEL ÇALIŞMA (EXPERIMENTAL METHOD)

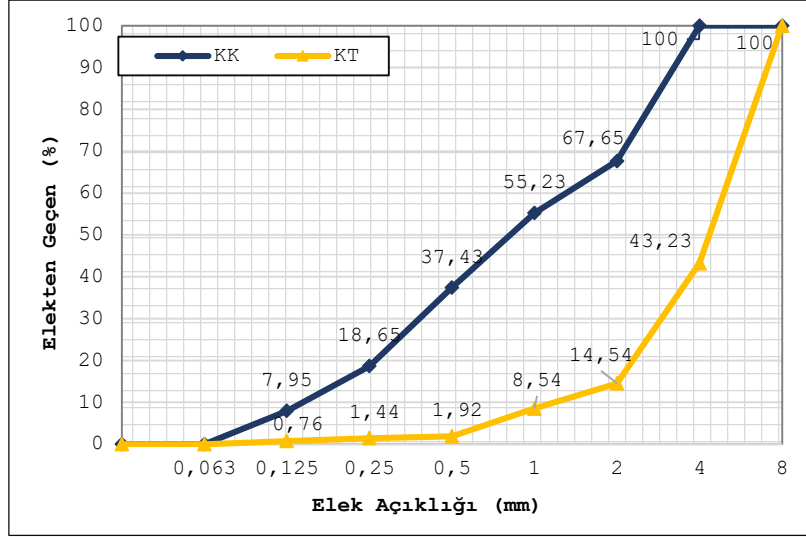
Çalışma kapsamında TS EN 197-1'e uygun CEM-I 42.5R Portland Çimentosu (PÇ) [28] ve çimentoya ikame olarak kütlece %0, %5 ve %10 oranlarında OA kullanılmıştır. OA ve PÇ'nin özgül ağırlığı sırasıyla 3.04 gr/cm³ ve 3.12 gr/cm³'tür ve kimyasal bileşimleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. PÇ ve OA'nın özellikleri
(Table 1. Properties of PC and OA)

Kimyasal Bileşim	PÇ (%)	OA (%)
SiO ₂	16.95	31.28
Al ₂ O ₃	3.98	---
Fe ₂ O ₃	3.52	12.32
CaO	65.53	7.01
Na ₂ O	0.20	0.72
SO ₃	2.94	0.05
K ₂ O	0.95	--
MgO	1.51	43.28
Cl ⁻	0,02	--
Diğer		2.20
Kızdırma Kaybı	4.01	2.45
Çözünmeyen Kalıntı	0.43	---

Numunelerin üretiminde kırma kum (KK) ve kırma taş (KT) kullanılmıştır. KK ve KT sırasıyla 4 ve 8mm kare gözlü elekten elenen

elek altı malzemeden oluşmaktadır. KK ve KT'nin granülometri eğrisi Şekil 1'de verilmiştir [29] ve özgül ağırlığı sırasıyla 2.72 gr/cm³ ve 2.55 gr/cm³'tür. Numunelerin hazırlanmasında karışım suyu olarak şehir şebeke suyu kullanılmıştır [30].



Şekil 1. KK ve KT'nin granülometri eğrisi
(Figure 1. Sieve analysis of KK and KT)

Üretilen beton gruplarında karışım tasarımı S/B oranı %40-80 bandında %10 oranında artırılarak oluşturulmuştur. Ayrıca OA çimentoya %0 (Grup 1), %5 (Grup 2) ve %10 (Grup 3) oranlarında ikame edilmiştir. Her OA ikame durumu için tüm S/B oranlarında olmak üzere toplamda 15 seri beton üretilmiştir. Referans grubunu oluşturan beton setlerinde PÇ miktarı 370kg/m³ alınmıştır. Agregaya yığılı oluşturulurken KK ve KT miktarı toplam agregaya yığılının sırasıyla %40 ve %60'ını oluşturacak şekilde kullanılmıştır. 1m³ beton değişim oranları Tablo 2'de verilmiştir. Her beton setini temsil edecek sayıda 100x100x100mm ayrıtlı küp numune üretilmiştir. Plastik küp kalıplara yerleştirilen numuneler laboratuvar ortamında 24±2 saat bekletilmiş ve 28 gün boyunca 20±2°C sıcaklıktaki kirece doygun su küründe olgunlaştırılmıştır [31]. Tüm beton gruplarının kodlama verisi sırasıyla S/B oranı ve OK miktarına göre yapılmıştır (Tablo 2).

Tablo 2. Beton tasarımı (kg/m³)
(Table 2. Mix design of concrete)

	Beton Seti	S/B	Su (kg)	Çimento (kg)	Olivin (kg)
Grup 1	C0.8-00	0.80	296	370	---
	C0.7-00	0.70	259		
	C0.6-00	0.60	222		
	C0.5-00	0.50	185		
	C0.4-00	0.40	148		
Grup 2	C0.8-05	0.80	296	351.5	18.5
	C0.7-05	0.70	259		
	C0.6-05	0.60	222		
	C0.5-05	0.50	185		
	C0.4-05	0.40	148		
Grup 3	C0.8-010	0.80	296	333	37
	C0.7-010	0.70	259		
	C0.6-010	0.60	222		
	C0.5-010	0.50	185		
	C0.4-010	0.40	148		

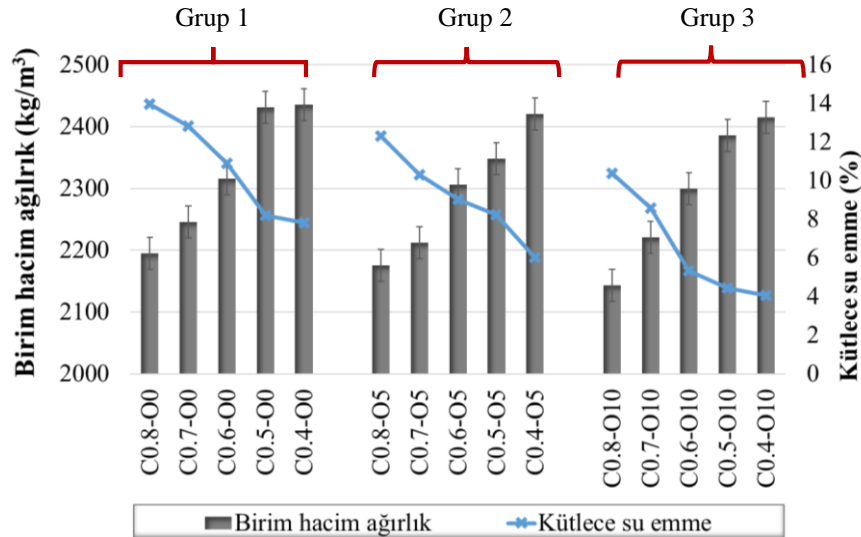
28 gün su kürü sonrası her beton setini temsil edecek şekilde tüm numuneler 3 takıma ayrılmıştır. Birinci takımdaki numuneler ile birim hacim ağırlık [32] kütlece su emme ve basınç dayanımı deneyi [33] gerçekleştirilmiştir. Diğer iki takım beton setleri ile sırasıyla 275°C ve 550°C yüksek sıcaklık uygulanmış ve ardından basınç dayanımı deneyi gerçekleştirilmiştir. Yüksek sıcaklık uygulamasında kullanılan etüv 6/dk ile ısıtılmış ve hedeflenen sıcaklık sağlandıktan sonra numuneler sıcak etüvde 60 dakika süre ile bekletilmiştir. Mikroyapı analizine yönelik değerlendirmeler; 28 gün su kürü sonrası basınç dayanımı deneyinde kullanılan numunelerden deney sonrası elde edilen parçalar ile gerçekleştirilen XRD verilerine dayanmaktadır. XRD verileri için yüksek sıcaklık uygulanmayan Grup 1 ve yüksek sıcaklık uygulanan Grup 2 ve Grup 3'te yer alan C0.6 kodlu numuneler kullanılmıştır. 9 farklı beton seti ile gerçekleştirilen mikroyapı analizleri Munzur Üniversitesi MUNTEAM bünyesinde RİGAKU-Miniflex 600 X-ışını kırınım cihazı ile gerçekleştirilmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMALAR (FINDINGS AND DISCUSSIONS)

4.1. Birim Hacim Ağırlık ve Su Emme Sonuçları

(Unit Volume Weight and Water Absorption Results)

PÇ'ye 3 farklı oranda OK'nın ikame edildiği ve 5 farklı S/B oranı ile üretilen beton gruplarının 28 gün su kürü sonrası birim hacim ağırlık ve kütlece su emme oranları (%) tespit edilmiş ve grafiksel gösterimi Şekil 2'de verilmiştir. Tüm beton setlerinin tespit edilen birim hacim ağırlığı 2143-2435kg/m³ aralığındadır. Şekil 2'de verilen Grup 1, OK ikamesi içermeyen beton setlerini temsil ederken Grup 2 ve Grup 3 ise sırasıyla %5 ve %10 OK ikameli setleri temsil etmektedir. Aynı S/B oranına sahip setler değerlendirildiğinde artan OK miktarı ve azalan PÇ miktarına bağlı olarak birim hacim ağırlıkta azalma söz konusudur ve bu sonuçlar benzer çalışma verileri ile paralellik sergiler [12].



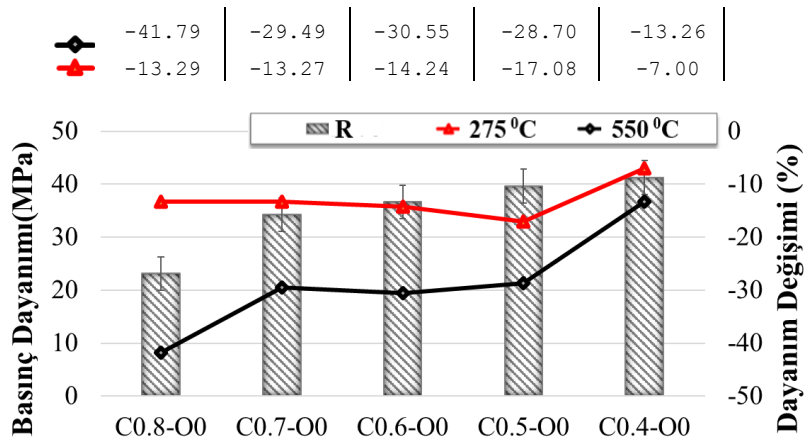
Şekil 2. Birim hacim ağırlık (kg/m³) ve su emme (%) sonuçları
(Figure 2. Unit volume weight (kg/m³) and water absorption (%) results)

Tüm beton grupları içinde en fazla birim hacim ağırlık değeri C0.4-00 setine aittir. Grup 1'de yer alan tüm S/B durumları Grup 2 ve Grup 3'te yer alan aynı S/B durumlarına göre daha fazla birim hacim ağırlığa sahiptir. Grup 1'de 0.4 ve 0.5 S/B oranına sahip C0.5-00 ile C0.4-00 setlerinin birim hacim ağırlık değerleri tüm çalışmadaki beton setleri içinde en yakın birim hacim ağırlık aralığını sunmaktadır ve bu değer %2 mertebesinde dir. Ayrıca aynı S/B oranına sahip ve farklı OK ikame

durumları incelendiğinde; en belirgin birim hacim ağırlık değişimi yaklaşık %3.4 fark ile C0.5-00 - C0.5-05 setleri arasında hesaplanmıştır. Tüm beton grupları kendi içinde değerlendirildiğinde en fazla S/B oranına sahip beton setlerinin en düşük birim hacim ağırlık değerini verdiği görülmektedir. Artan S/B oranı birim hacim ağırlığı azaltırken kütlece su emme oranını arttırmaktadır. Bu durum artan porozite ve reaksiyonda kullanılmayan su miktarından kaynaklanan boşluk hacmi ile ilişkilidir. OK miktarındaki artış ile kütlece su emme oranı Grup 1'den Grup 3'e doğru tüm beton setlerinde azalmaktadır. Bu değişim en fazla C0.6-00 (%10.9) ile C0.6-010 (%5.34) setleri arasında hesaplanmıştır.

4.2. Basınç Dayanımı Sonuçları (Compressive Strength Results)

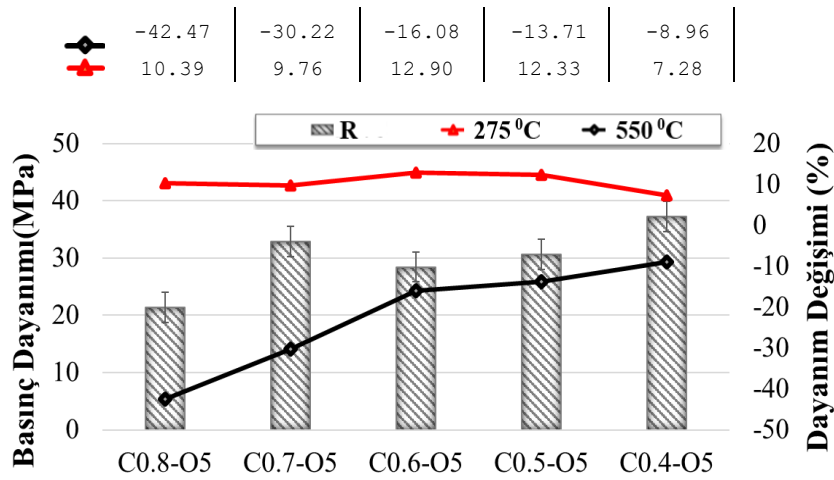
Tüm beton grupları ile gerçekleştirilen basınç dayanımı verileri Şekil 3, 4 ve 5'te verilmiştir. Artan OA miktarı ile aynı S/B oranına sahip beton setleri arasındaki basınç dayanımı değişim aralığı literatürdeki benzer deneysel çalışma verileri ile paralellik sergilemektedir [12]. Grup 1'de en fazla ve en düşük basınç dayanımı sırasıyla C0.4-00 ve C0.8-00 setlerine aittir. C0.4-00 setinde 41.2MPa mertebesinde olan basınç dayanımı C0.8-00 setinde 23.1MPa'ya düşmektedir. Yaklaşık 0.4 oranındaki S/B artışına bağlı basınç dayanımı kaybı yaklaşık 18MPa'dır. 275°C ve 550°C sonrası en yüksek ve en düşük basınç dayanımı ise sırasıyla 20.0-38.3MPa ve 13.4-35.7MPa'dır. 275 ve 550°C sıcaklık sonrası basınç dayanımı değişimi en fazla olan beton seti C0.8-00'dür. Artan S/B oranı ile 275°C ve 550°C sıcaklık sonrası basınç dayanımı kaybı da artmaktadır. Tüm beton setleri içinde en fazla basınç dayanımı kaybı C0.8-00 setine aittir ve bu kayıp 550°C sıcaklık sonrası yaklaşık %41.8 olarak hesaplanmıştır. 0.7-0.5 bandında S/B oranı ile üretilen setlerdeki basınç dayanım kaybı yakın değerler aralığındadır. Artan S/B oranı beton setlerinin boşluk oranını etkiler. Grup 1'deki beton setlerinin boşluk oranı da yüksek sıcaklık sonrası betonun iç gerilmelerine bağlı basınç dayanımı kaybı ile ilişkilidir. Yüksek sıcaklık etkisindeki betonlarda iç gerilemelerin mevcut boşluk oranın azlığına bağlı olduğu bilinmektedir [37]. Grup 1'de artan S/B oranı, benzer çalışma verilerinde olduğu gibi, basınç dayanımını düşürmektedir [34]. Yüksek sıcaklık etkisi ile basınç dayanımı değişimi benzer çalışma verileri ile örtüşmektedir [35]. Basınç dayanımı düşük olan beton setlerindeki dayanım kaybı 550°C sonrası belirgindir ve nihai basınç dayanımı ile dayanım kaybı ilişkilidir [36].



Şekil 3. Basınç dayanımı (MPa) ve basınç dayanımı değişimi (%) sonuçları (Grup 1)

(Figure 3. Results of compressive strength (MPa) and change in compressive strength (%) (Group 1))

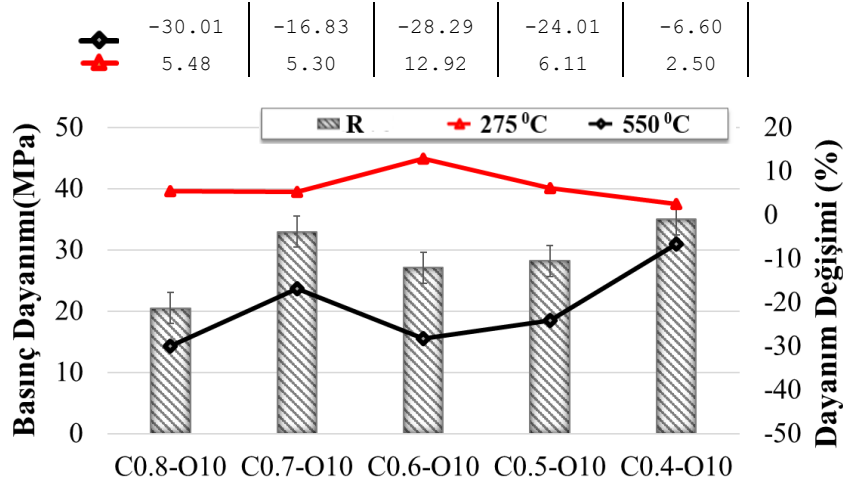
Grup 2'nin basınç dayanımı ve yüksek sıcaklık sonrası basınç dayanımı değişimi Şekil 4'te verilmiştir. Grup 2'de yüksek sıcaklık uygulanmayan beton setlerinin basınç dayanımı aralığı yaklaşık 21.3-37.3 MPa'dır. Ayrıca 275°C ve 550°C yüksek sıcaklık uygulanan setlerde basınç dayanımı sırasıyla, 23.5-39.9, 12.2-33.9MPa aralığındadır. Benzer çalışma verilerinde olduğu gibi artan S/B oranı ile basınç dayanımı düşmektedir [38]. %5 OK ikameli tüm beton setlerinde 275°C yüksek sıcaklık sonrası basınç dayanımında artış söz konusudur bu sonuçlar literatürdeki deneysel çalışma sonuçları ile benzerlik sunmaktadır [39]. %5 OK ikame edilen beton setlerinde azalan S/B oranı ile basınç dayanımı kaybı 550°C sonrası düşüş sergiler. 550°C sıcaklık uygulandıktan sonra ise tüm beton serilerinde basınç dayanımı %8.96 ile %42.47 mertebesinde düşmektedir. 275 °C sonrası en fazla basınç dayanımı artışı C0.6-00.5 setine aittir. Ayrıca C0.6-00.5 seti ve daha az S/B oranına sahip olan C0.5-00.5 ve C0.4-00.5 setlerinde 550°C sonrası basınç dayanımı kaybı da kademeli olarak azalmaktadır.



Şekil 4. Basınç dayanımı (MPa) ve basınç dayanımı değişimi (%) sonuçları (Grup 2)

(Figure 4. Results of compressive strength (MPa) and change in compressive strength (%) (Group 2))

Grup 3'e ait basınç dayanımı ve yüksek sıcaklık sonrası basınç dayanımı değişimi Şekil 5'te verilmiştir. Yüksek sıcaklık uygulanmayan, 275°C ve 550°C yüksek sıcaklık uygulanan serilerin basınç dayanımı sırasıyla 20.5-35.0, 21.6-35.9, 14.3-32.7MPa aralığındadır. Artan S/B oranı basınç dayanımı üzerinde etkilidir ancak bu etki doğrusal değildir ve OA miktarından etkilenmektedir. 275°C yüksek sıcaklık sonrası tüm serilerde basınç dayanımında artış kaydedilmiştir. Ancak 550°C yüksek sıcaklık sonrası basınç dayanımı tüm serilerde azalmıştır. Grup 3'te 275°C yüksek sıcaklık sonrası en az basınç dayanımı değişimi sırasıyla C0.4-010 setinde hesaplanmıştır. OA ikamesinin 275°C yüksek sıcaklıktan sonra basınç dayanımı üzerindeki pozitif etkisi benzer çalışma verileri ile örtüşmektedir [39].

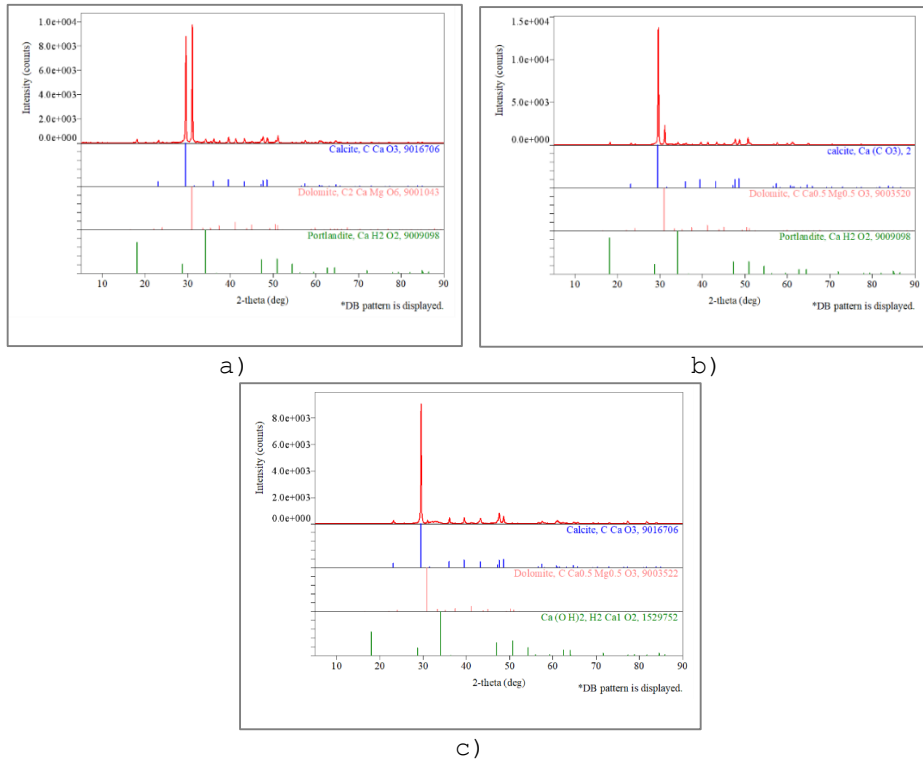


Şekil 5. Basınç dayanımı (MPa) ve basınç dayanımı değişimi (%) sonuçları (Grup 3)

(Figure 5. Results of compressive strength (MPa) and change in compressive strength (%) (Group 3))

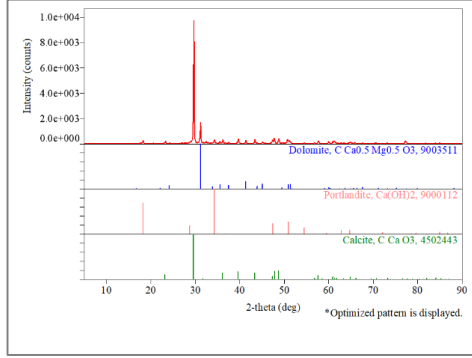
4.3. Mikroyapı Analizi Sonuçları (Microstructure Analysis Results)

Mikroyapı analizine dayalı verilerin grafiksel gösterimi Şekil 6, 7 ve 8’de verilmiştir. OK ikame edilmeyen ve Grup 1’de temsil edilen numunelerin mikro yapı analizi sonuçları Şekil 6’da verildiği gibidir. Şekil 6a yüksek sıcaklık uygulanmayan, Şekil 6b ve 6c ise sırasıyla 275°C ve 550°C sıcaklık uygulanan numunelerin XRD verilerini içermektedir. Şekil 6’da; Calcite, Dolomit ve Portlandit piklerinin yoğun olduğu gözlenmektedir.

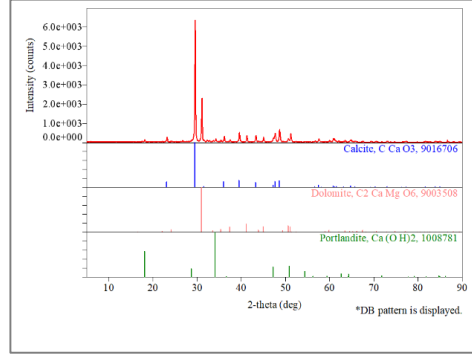


Şekil 6. Grup 1’e ait mikroyapı analizi verileri (Figure 6. Microstructure analysis data for Group 1)

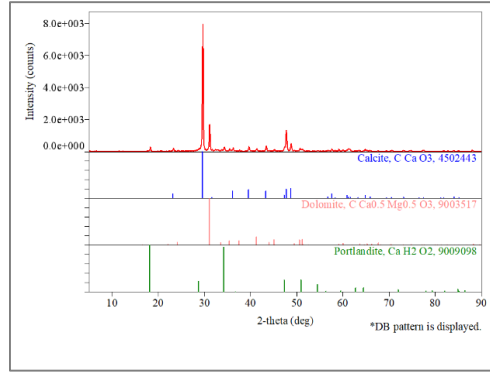
Grup 2'ye ait mikroyapı analizi verileri Şekil 7'te verildiği gibidir. Şekil 7a yüksek sıcaklık uygulanmayan, Şekil 7b ve 7c ise sırasıyla 275°C ve 550°C sıcaklık uygulanan numunelerin XRD verilerini içermektedir. Şekil 7'de; Portlandit, Dolomit, Calcite pikleri yoğun olarak gözlenmektedir. Ayrıca yüksek sıcaklık uygulanmayan (Şekil 7a) grupta baskın olan Dolomit pikinin yüksek sıcaklık sonrası (Şekil 7b ve 7c) Calcite olduğu görülmektedir.



(a)



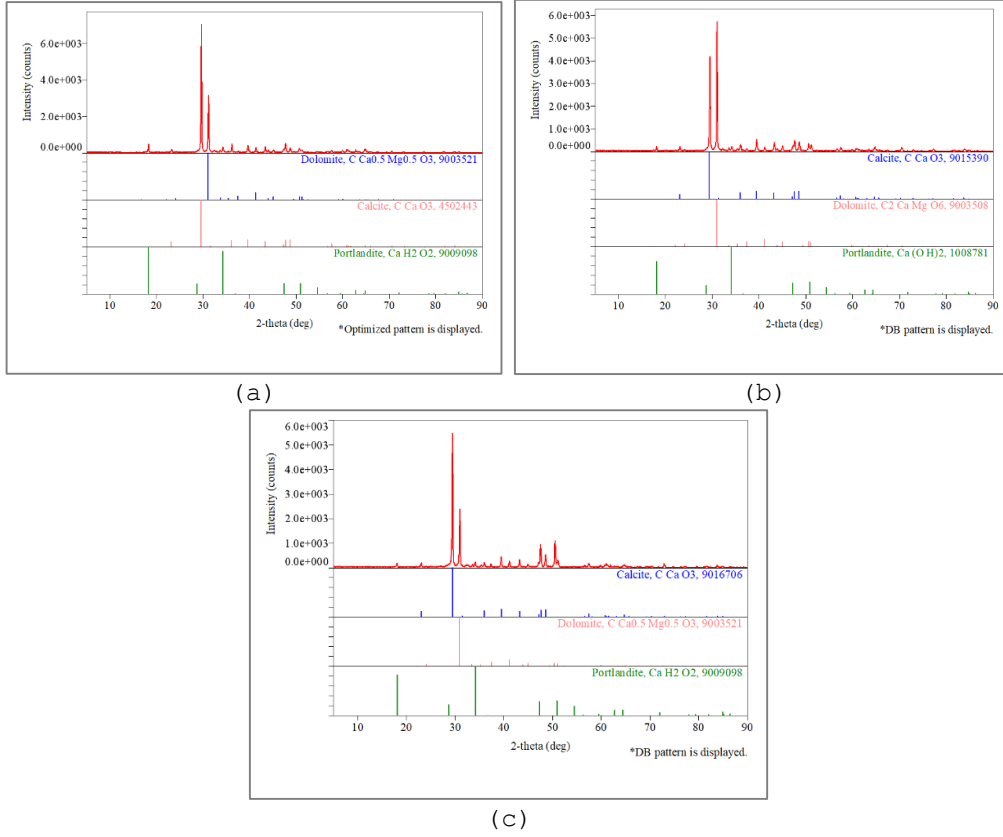
(b)



(c)

Şekil 7. Grup 2'ye ait mikroyapı analizi verileri
 (Figure 7. Microstructure analysis data for Group 2)

Grup 3'e ait mikroyapı analizi verileri Şekil 8'de verildiği gibidir. Yüksek sıcaklık uygulanmayan %10 OK ikameli seride (Şekil 8a) Dolomit pikleri baskın olmasına rağmen yüksek sıcaklık sonrası Calcite piklerinin yüksek olduğu görülmektedir (Şekil 8b ve 8c).



Şekil 8. Grup 3'e ait mikroyapı analizi verileri
(Figure 8. Microstructure analysis data for Group 3)

5. SONUÇ VE ÖNERİLER (CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS)

PÇ'ye 3 farklı oranda OK ikame edilerek, her ikame durumu için 5 farklı S/B oranında olmak üzere 15 farklı beton seti üretilmiştir. Bir tanesi referans olmak üzere iki farklı yüksek sıcaklık uygulanan tüm beton setlerinin elde edilen basınç dayanımı ve mikro yapı analizi sonuçları aşağıdaki gibi özetlenmiştir.

- Tüm beton setlerinin tespit edilen birim hacim ağırlığı 2143-2435kg/m³ aralığındadır. Aynı S/B oranına sahip setler değerlendirildiğinde artan OK miktarı ve azalan PÇ miktarına bağlı olarak birim hacim ağırlık azalmaktadır. Tüm beton grupları içinde en fazla birim hacim ağırlık değeri C0.4-00 setine aittir. Artan S/B oranı birim hacim ağırlığı azaltırken kütlece su emme oranını arttırmaktadır.
- Grup 1'de Artan S/B oranı ile 275°C ve 550°C sıcaklık sonrası basınç dayanımı kaybı da artmaktadır. %5 OK ikameli Grup 2'de yer alan beton setlerinde 275°C yüksek sıcaklık sonrası basınç dayanımında %7.2-12.9MPa mertebesinde artış söz konusudur. En fazla basınç dayanımı artışı C0.6-00.5 setine aittir. Ancak 550°C yüksek sıcaklık sonrası tüm setlerde basınç dayanımı düşmektedir. Grup 2'de azalan S/B oranı ile basınç dayanımı kaybı 550°C sonrası düşüş sergiler.
- Grup 3'te yüksek sıcaklık uygulanmayan, 275°C ve 550°C yüksek sıcaklık uygulanan serilerin basınç dayanımı sırasıyla 20.5-35.0 MPa, 21.6-35.9 MPa, 14.3-32.7MPa aralığındadır. Artan S/B oranı basınç dayanımı üzerinde etkilidir ancak bu etki doğrusal değildir ve OA miktarından etkilenmektedir. 275°C yüksek sıcaklık sonrası tüm serilerde basınç dayanımında artış kaydedilmiştir. Ancak 550°C yüksek sıcaklık sonrası basınç dayanımı tüm serilerde azalmıştır.

ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Yazar çıkar çatışması bildirmemiştir.

FİNANSAL AÇIKLAMA (FINANCIAL DISCLOSURE)

Yazar bu çalışma için herhangi bir mali destek almadığını beyan etmiştir.

ETİK STANDARTLAR BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Makalenin yazarı bu çalışmada kullanılan materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel izin gerektirmediğini beyan eder.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Kanna, A.G. and Parthasarathi, N., (2024). Experimental investigation on concrete by partial replacement of fine aggregate with olivine sand. In: Gencel, O., Balasubramanian, M., Palanisamy, T. (eds) Sustainable Innovations in Construction Management. ICC IDEA 2023. Lecture Notes in Civil Engineering, 388. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-99-6233-4_6.
- [2] MTA, Olivin. <https://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/olivin>. Bilgi merkezi, MTA Genel Müdürlüğü.
- [3] Altuncu, Y.T. ve Ceylan, H., (2023). Olivin agregalı harçların yüksek sıcaklık etkisindeki mekanik davranışları. Uluslararası Batı Karadeniz Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 5(1):1-10. <https://doi.org/10.55440/umufed.1190966>.
- [4] Turan, B. ve Acartürk, B., (2022). Olivin mineralinin seramik sırlarında kullanım olanaklarının araştırılması ve uygulamaları, 22:1157-1167. doi: 10.35414/akufemubid.1102493.
- [5] Akyıldırım, H., (2019). Betonda gama ışını kalkanı olarak kullanılan olivin minerali. Arab J Geosci, 12:264. <https://doi.org/10.1007/s12517-019-4425-x>.
- [6] Papayianni, I., Papachristoforou, M., Patsiou, V., and Petrohilou, V., (2013). Development of fire resistant shotcrete with olivine aggregates. International IABSE Conference, Rotterdam May 6-8, 2013 Assessment, Upgrading and Refurbishment of Infrastructures Congress Report, 114-115.
- [7] Zedef, V. ve Döyen, A., (2001). Olivin: Türkiye'de tanınmayan çok amaçlı kullanımı olan bir hammadde ve ülkemiz olivin potansiyeline bir örnek: Kızıldağ (Akseki-Antalya) Olivin Yatağı. 4. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, Konya, 299-303.
- [8] TS 25, (2008). Doğal puzolan (tras)-çimento ve betonda kullanılan- tarifler, gerekler ve uygunluk kriterleri. TSE, Ankara.
- [9] TS EN 450, (2013). Uçucu kül-betonda kullanılan-bölüm 1: tarif, özellikler ve uygunluk kriterleri. TSE, Ankara.
- [10] ASTM 618-12, (1994). Standard specification for coal fly ash and raw or calcined natural pozzolan for use in concrete, Annual book of ASTM standards, USA.
- [11] Altuncu, Y.T. ve Ceylan, H., (2023). Olivin atık tozunun puzolanik özelliğinin araştırılması. Süleyman Demirel Üniversitesi YEKARUM e-Dergi, 8(1):13-19.
- [12] Sancak, E. ve Çoban, Ö., (2014). Olivin atıklarının betonda kullanımının betonarme donatısının korozyon özelliklerine etkisi. Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi, 2(4):26-41.
- [13] Achang, M. and Radonjic, M., (2021). Adding olivine micro particles to Portland cement based wellbore cement slurry as a sacrificial material: A quest for the solution in mitigating

- corrosion of wellbore cement, *Cement and Concrete Composites*, 121. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2021.104078>.
- [14] Yavuz, D. ve Yazıcı, Ş., (2022). 2. Yangın ve Yüksek Sıcaklığın Betonarme Yapılar Üzerindeki Etkisi. Uluslararası Katılımlı Yangın Sempozyumu. İzmir, 149-153.
- [15] Ekinci, C.E., (2023). Bordo Kitap: Mimar ve Mühendisin İnşaat El Kitabı. Ankara: Daya Yayınları.
- [16] Yüksel, İ., Siddique, R., and Özkan Ö., (2011). Influence of high temperature on the properties of concretes made with industrial by-products as fine aggregate replacement. *Constr Build Mater*, 25:967-972.
- [17] Kızılkant, A.B. ve Yüzer, N., (2008). Yüksek sıcaklık etkisindeki harcın basınç dayanımı-renk değişimi ilişkisi. *İMO Teknik Dergi*, 4381-4392.
- [18] Short, N.R., Purkiss, J.A., and Guise, S.E., (2001). Assessment of fire damaged concrete using colour image analysis, *Construction and Building Materials*, 15(1):9-15. [https://doi.org/10.1016/S0950-0618\(00\)00065-9](https://doi.org/10.1016/S0950-0618(00)00065-9).
- [19] Khoury, G.A., (2000). Effect of fire on concrete and concrete structures. *Progress in Structural Engineering and Materials*, 2(4):429-447.
- [20] Uysal, A., (2004). Yüksek sıcaklığın beton üzerindeki etkileri. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- [21] Güçlüer, K., Yıldız, M.R. ve Günaydın, O., (2023). An Investigation of the High-Temperature Behavior of Basalt, Olivine, and Pyrophyllite Additive Mortars. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering*, 47:1467-1484. <https://doi.org/10.1007/s40996-022-00996-6>.
- [22] TS EN 13501-1, (2019). Yapı ürünleri ve yapı elemanlarının yangın sınıflandırması - Bölüm 1: Yangına tepki testlerinden elde edilen veriler kullanılarak sınıflandırma. TSE, Ankara.
- [23] ISO 834, (2014). Yangına dayanıklılık testleri - Bina inşaatının elemanları Bölüm 11: Yapısal çelik elemanların yangından korunma değerlendirmesine ilişkin özel gereklilikler.
- [24] Durmuş, G. ve Can, Ö. (2009). Yüksek sıcaklık uygulanmış katkı betonun bulanık mantık ve regresyon yöntemiyle basınç dayanım tahmini. *Politeknik Dergisi*, 12(3):195-200.
- [25] Thomas, C., Rico, J., Tamayo, P., Ballester, F., Setián, J., and Polanco, A., (2019). Effect of elevated temperature on the mechanical properties and microstructure of heavy-weight magnetite concrete with steel fibers. *Cement and Concrete Composites*, 103:80-88. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2019.04.029>.
- [26] Sarıdemir, M. and Yıldırım, A., (2022). Effect of elevated temperatures on properties of high strength mortars containing ground calcined diatomite with limestone sand. *Journal of Building Engineering*, 56. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.104748>.
- [27] Husem, M., (2006). The effects of high temperature on compressive and flexural strengths of ordinary and high-performance concrete. *Fire Safety Journal*, 41(2):155-163. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2005.12.002>.
- [28] TS EN 197-1, (2012). Çimento - Bölüm 1: Genel çimentolar - Bileşim, özellikler ve kapsamlı kriterler. TSE, Ankara.
- [29] TS EN 933-1, (2012). Agregaların geometrik özellikleri için deneyler bölüm 1: Tanenin genel tarihsel tayini- Eleme yöntemi. TSE, Ankara.
- [30] TS EN 1008, (2003). Beton-Karma suyu-Numune alma. TSE, Ankara.

- [31] TS EN 12390-2, (2019). Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 2: Dayanım deneylerinde kullanılan deney numunelerinin hazırlanması ve küre tabii tutulması. TSE, Ankara.
- [32] TS EN 12390-7, (2010). Beton - Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 7: Sertleşmiş Beton Yoğunluğunun Tayini. TSE, Ankara.
- [33] TS EN 12390-3, (2010). Beton - Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 3: Deney Numunelerinin Basınç Dayanımının Tayini. TSE, Ankara.
- [34] Abdülkadir, G., (2024). Farklı su/çimento oranlarına sahip kalsiyum alüminat çimentolu betonların yüksek sıcaklıkta basınç dayanımlarının ve elastisite modüllerinin incelenmesi. Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 7(1):1-12.
- [35] Chan, S.Y.N., Peng, G.F., and Chan, J.K.W., (1996). Comparison between high strength concrete and normal strength concrete subjected to high temperature. *Mat. Struct.* 29:616-619.
<https://doi.org/10.1007/BF02485969>
- [36] Carlos, C. and Durrani, A.J., (1990). Effect of transient high temperature on high-strength concrete(Article). *ACI Materials Journal* Volume 87, Issue 1, January 1990, 47-53.
- [37] Ma, O., Guo, R., Zhao, Z., Lin, Z., and He, K., (2015). Mechanical properties of concrete at high temperature-A review, *Construction and Building Materials*, 93:371-383.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.05.131>.
- [38] Popovics, S. and Ujhelyi, J., (2008). Contribution to the concrete strength versus water-cement ratio relationship. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 20(7):459-463.
- [39] Ercen, E., Özpınar, Y. ve Arslan, İ., (2014). Olivin agrega kullanılarak ısıya dayanıklı beton üretimi, 67. Türkiye Jeoloji Kurultayı, Nisan, Türkiye.