



T.C.
OSMANİYE KORKUT ATA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yelid BÜYÜKKURT

CAM TOZU KULLANILARAK ÜRETİN
LİFLİ BETONLARIN ASİT ETKİSİ
ALTINDA MÜHENDİSLİK
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

OSMANİYE – 2023

**T.C.
OSMANIYE KORKUT ATA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**CAM TOZU KULLANILARAK ÜRTETİLEN LİFLİ
BETONLARIN ASİT ETKİSİ ALTINDA MÜHENDİSLİK
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**



Yelid BÜYÜKKURT

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

**OSMANIYE
EYLÜL-2023**

TEZ ONAYI

CAM TOZU KULLANILARAK ÜRTETİLEN LİFLİ BETONLARIN ASİT ETKİSİ ALTINDA MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Yelid BÜYÜKKURT tarafından Dr. Öğr. Üyesi Behçet DÜNDAR danışmanlığında Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **İnşaat Mühendisliği** Anabilim Dalı'nda hazırlanan bu çalışma aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından oy birliği ile **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Behçet DÜNDAR
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, OKÜ

.....

Üye: Doç. Dr. Ümit YURT
İnşaat Teknolojisi Bölümü, DÜ

.....

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Gökhan ALTAY
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, OKÜ

.....

Yukarıdaki jüri kararı Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/...../..... tarih ve /..... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Doç. Dr. Bülent YANIKTEPE
Enstitü Müdürü, **Fen Bilimleri Enstitüsü**

.....

Bu tezde kullanılan özgün bilgiler, şekil, çizelge ve fotoğraflardan kaynak göstermeden alıntı yapmak 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu hükümlerine tabidir.

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, bu çalışma sonucunda elde edilmeyen her türlü bilgi ve ifade için ilgili kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını ve bu tezin Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlandığını bildiririm.

Yelid BÜYÜKKURT



ÖZET

CAM TOZU KULLANILARAK ÜRETİLEN LİFLİ BETONLARIN ASİT ETKİSİ ALTINDA MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Yelid BÜYÜKKURT
Yüksek Lisans, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Behçet DÜNDAR

Eylül 2023, 67 sayfa

Çimento üretiminin çevresel etkileri alternatif bağlayıcı malzemelere olan ihtiyacı arttırmıştır. Yapılan araştırmalarda camın betonun taze haldeki özellikleri ve mekanik dayanımı üzerinde olumlu etkilere sahip olabileceğini göstermiştir. Bu çalışma, mineral katkı olarak kullanılan Cam Tozu (CT) nun betonun fiziksel ve mekanik özellikleri üzerindeki etkilerini detaylı bir şekilde incelemektedir. Araştırma sürecinde, farklı kürlenme sürelerini tamamlamış lifli betonların üzerinde basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı, su emme, porozite, aşınma, kapiler su emme, elektriksel özdirenç ve ultrases geçiş hızı gibi deneyler gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, 28 günlük kürlenme süresini tamamlamış numuneler, sülfürik asit (SA) çözeltisine maruz bırakılarak fiziksel ve mekanik özelliklerindeki değişiklikler incelenmiştir. Beton karışımında CEM I 42.5 R portland çimentosu, çimento ile ağırlıkça %0, %10, %20 ve %30 oranlarında CT, 0-4 mm kırma kum ve 4-16 mm tane boyutlarına sahip kırma taş agregası, 1 kg/m³ sabit oranda Cam Lif (CL) ve Bazalt Lif (BL) kullanılmıştır. Su/Çimento oranı 0.45 olarak sabitlenmiş ve ek olarak ağırlıkça %1.2 oranında akışkanlaştırıcı kimyasal katkı karışıma eklenmiştir. Sonuçlar, %10 CT ilavesinin, asit çözeltisi ve normal kür koşulları altında betonun mekanik ve fiziksel özelliklerinde daha iyi sonuçlar verdiğini göstermektedir. Bu bulgular, çimento endüstrisinde çevre dostu alternatiflerin önemini vurgularken, betonun dayanıklılığını artırmak için cam tozu ve lif kullanımının etkilerini ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Cam Tozu, Lifli beton, Asit Etkisi, Lif Takviyesi

ABSTRACT

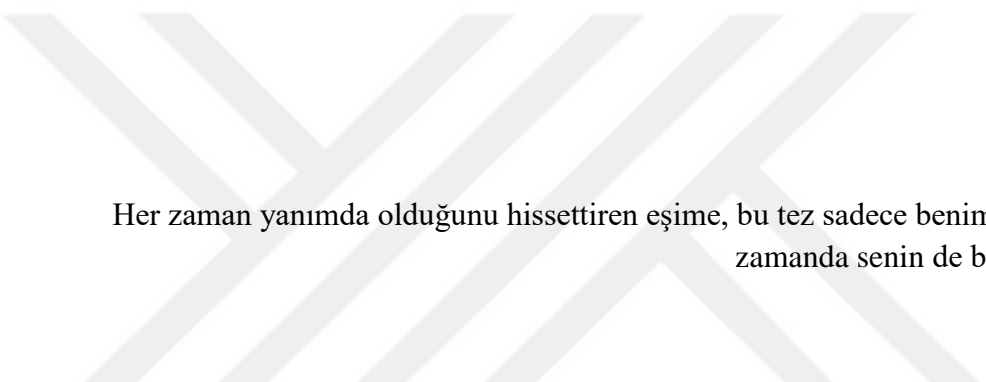
EXAMINATION OF ENGINEERING PROPERTIES OF FIBER-REINFORCED CONCRETES PRODUCED USING GLASS POWDER UNDER ACID ATTACK

Yelid BÜYÜKKURT
M.Sc., Department of Civil Engineering
Supervisor: Assist. Prof. Dr. Behçet DÜNDAR

September 2023, 67 pages

Cement production's environmental impact has boosted the demand for alternative binding materials. Research has revealed that glass can positively influence concrete's fresh properties and mechanical strength. This study investigates the detailed effects of Glass Powder (GP) as a mineral additive on concrete's physical and mechanical properties. Experiments on fiber-reinforced concrete samples were conducted, measuring compressive strength, tensile strength, water absorption, porosity, abrasion resistance, capillary water absorption, electrical resistivity, and ultrasonic transmission velocity at various curing times. Additionally, samples completed a 28-day curing period and were exposed to sulfuric acid (SA) solution to assess changes in their properties. The concrete mix included CEM I 42.5 R Portland cement, GP in weight percentages of 0%, 10%, 20%, and 30%, crushed sand (0-4 mm), and crushed stone aggregates (4-16 mm), with 1 kg/m³ of Glass Fiber (GF) and Basalt Fiber (BF). The water/cement ratio remained at 0.45, with an additional 1.2% by weight of a superplasticizer added. Results show that adding 10% GP enhances concrete's mechanical and physical properties under both acid and normal curing conditions. This underscores the importance of eco-friendly alternatives in the cement industry and highlights the positive effects of glass powder and fibers on concrete durability.

Keywords: Glass Powder, Fiber-Reinforced Concrete, Acid Attack, Fiber Reinforcement



Her zaman yanımda olduğunu hissettiren eşime, bu tez sadece benim değil aynı zamanda senin de başarındır...

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans eğitimim süresince bilgi ve tecrübelerini esirgemeyen danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Behçet DÜNDAR'a teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam boyunca yardım ve desteklerinden dolayı Sayın Arş. Gör. Emriye ÇINAR RESULOĞULLARI'na teşekkür ederim.

Tez çalışmamın değerlendirilmesine katkıda bulunan Sayın Doç. Dr. Ümit YURT ve Sayın Dr. Öğr. Üyesi Gökhan ALTAY'a teşekkür ederim.

Tez çalışmam sürecinde İnşaat Mühendisi Meryem Rumeysa KAYIHAN'a ve Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümü öğrencilerine destekleri için teşekkür ederim.

Her zaman sabır ve anlayışıyla yanımda olan eşim Özlem KILIÇ BÜYÜKKURT ile kızım Defne BÜYÜKKURT'a teşekkür ederim.

Tüm eğitim hayatım boyunca beni sürekli destekleyen ve daha güçlü olmamı sağlayan değerli ailem Neriman BÜYÜKKURT ile Asım BÜYÜKKURT'a teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAYI	
TEZ BİLDİRİMİ	
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
İTHAF SAYFASI	iii
TEŞEKKÜR.....	iv
İÇİNDEKİLER	v
ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	x
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	5
3. MALZEME VE YÖNTEM.....	13
3.1. Malzemeler.....	13
3.1.1. Çimento	13
3.1.2. Karışım Suyu.....	14
3.1.3. Agrega.....	14
3.1.4. Kimyasal Katkı.....	14
3.1.5. Cam Tozu	15
3.1.6. Sülfürik Asit.....	16
3.1.7. Cam Lif	16
3.1.7. Bazalt Lif.....	17
3.2.Yöntem.....	17
3.2.1 Beton Numunelerin Hazırlanması.....	17
3.2.2. Beton Numunelerinin Kürlenmesi	20
3.2.3. Beton Numunelerinin SA İçerisinde Bekletilmesi.....	21
3.2.4. Deneysel Çalışmalar	21
3.2.4.1. Slump (Çökme) Deneyi	22
3.2.4.2. Basınç Dayanım Deneyi.....	23
3.2.4.3. Yarmada Çekme Dayanım Deneyi.....	23
3.2.4.4. Su Emme ve Porozite Deneyi	24

3.2.4.5. Kapiler Su Emme Deneyi.....	25
3.2.4.6. Ultrases Geçiş Hızı Deneyi	25
3.2.4.7. Aşınma (Böhme) Deneyi	26
3.2.4.8. Elektriksel Özdirenç Deneyi	27
3.2.4.9. Asit Etkisiyle Ağırlık Kaybı Deneyi	28
3.2.4.10 Asit Etkisiyle Basınç Dayanımı Deneyi.....	30
3.2.4.11 Asit Etkisiyle Yarmada Çekme Dayanımı Deneyi	30
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE DEĞERLENDİRMELER	31
4.1. Slump Deneyi Sonuçları	31
4.2. Basınç Dayanım Değerleri	33
4.3. Yarmada Çekme Dayanım Değerleri	37
4.4. Su Emme ve Porozite Deney Değerleri	41
4.5.Kapiler Su Emme Deney Değerleri.....	45
4.6. Ultrases Geçiş Hızı Deney Değerleri	47
4.7. Aşınma (Böhme) Deney Değerleri.....	49
4.8. Elektriksel Özdirenç Deney Değerleri	51
4.9. Asit Etkisiyle Ağırlık Kaybı Deneyi	53
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	55
5.1. Sonuçlar	55
5.2. Öneriler	57
KAYNAKLAR	59
ÖZGEÇMİŞ	67

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3. 1. CEM I 42.5/R çimentosunun kimyasal ve fiziksel özellikleri	13
Çizelge 3. 2. Kimyasal katkının fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	15
Çizelge 3. 3. CT'nin kimyasal bileşik içerik oranları (%)	15
Çizelge 3. 4. SA ait özellikler	16
Çizelge 3. 5. CL'ye ait teknik özellikler	16
Çizelge 3. 6. BL'ye ait teknik özellikler	17



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3. 1. Agrega Granülometrisi	14
Şekil 3. 2. Kullanılan CL'nin görünümü.....	16
Şekil 3. 3. Kullanılan BL'nin görünümü.....	17
Şekil 3. 4. Karışımların hazırlanmasında kullanılan betoniye	18
Şekil 3. 5. Numunelerin Kodlama Şeması	18
Şekil 3. 6. Slump (Çökme) deneyi	19
Şekil 3. 7. Kalıplara alınmış numuneler.....	20
Şekil 3. 8. Kür havuzundaki numunelerin görünümü	20
Şekil 3. 9. SA'nın hazırlanması	21
Şekil 3. 10. Beton Dayanımı Cihazı.....	23
Şekil 3. 11. Yarmada çekme dayanım deneyi.....	24
Şekil 3. 12. Numunenin Arşimet prensibine göre ağırlıklarının alınması.....	24
Şekil 3. 13. Kapiler su emme deney düzeneği	25
Şekil 3. 14. Ultrases geçiş hızı deneyi.....	26
Şekil 3. 15. Aşınma deneyi düzeneği	27
Şekil 3. 16. Elektriksel özdirenç deney düzeneği	27
Şekil 3. 17. Asit Çözelti içerisinde numunelerin bekletilmesi.....	28
Şekil 3. 18. SA etkisi altında numunelerin değişimleri.....	29
Şekil 4. 1. Beton numunelerin slump değerleri: a. Cam tozu içeren lifsiz karışım, b. Cam tozu içeren cam lifli karışım c. Cam tozu içeren bazalt lifli karışım.....	32
Şekil 4. 2. Basınç Dayanımı Değerleri (Normal Kür Koşulları) : a. Cam tozu içeren lifsiz karışım, b. Cam tozu içeren cam lifli karışım c. Cam tozu içeren bazalt lifli karışım.....	34
Şekil 4. 3. Basınç Dayanımı Değerleri (Asit Etkisi Altında) : a. Cam tozu içeren lifsiz karışım, b. Cam tozu içeren cam lifli karışım c. Cam tozu içeren bazalt lifli karışım 36	
Şekil 4. 4. Yarmada Çekme Dayanımı Değerleri (Normal Kür Koşulları) : a. Cam tozu içeren lifsiz karışım, b. Cam tozu içeren cam lifli karışım c. Cam tozu içeren bazalt lifli karışım	38
Şekil 4. 5. Yarmada Çekme Dayanımı Değerleri (Asit Etkisi Altında) : a. Cam tozu içeren lifsiz karışım, b. Cam tozu içeren cam lifli karışım c. Cam tozu içeren bazalt lifli karışım.....	40

Şekil 4. 6. Su emme deneyi sonuçları : a. Cam tozu içeren lifsiz karışım, b. Cam tozu içeren cam lifli karışım c. Cam tozu içeren bazalt lifli karışım	42
Şekil 4. 7. Porozite deneyi sonuçları : a. Cam tozu içeren lifsiz karışım, b. Cam tozu içeren cam lifli karışım c. Cam tozu içeren bazalt lifli karışım	44
Şekil 4. 8. Kapilerite katsayısı : a. Cam tozu içeren lifsiz karışım, b. Cam tozu içeren cam lifli karışım c. Cam tozu içeren bazalt lifli karışım	46
Şekil 4. 9. Ultrases geçiş hızı deneyi sonuçları : a. Cam tozu içeren lifsiz karışım, b. Cam tozu içeren cam lifli karışım c. Cam tozu içeren bazalt lifli karışım	48
Şekil 4. 10. Ağırlık kaybı (%) : a. Cam tozu içeren lifsiz karışım, b. Cam tozu içeren cam lifli karışım c. Cam tozu içeren bazalt lifli karışım	50
Şekil 4. 11. Elektriksel Özdirenç Değerleri : a. Cam tozu içeren lifsiz karışım, b. Cam tozu içeren cam lifli karışım c. Cam tozu içeren bazalt lifli karışım	52
Şekil 4. 12. Asit Etkisi Altında Yüzdesel Ağırlık Kaybı Değerleri : a. Cam tozu içeren lifsiz karışım, b. Cam tozu içeren cam lifli karışım c. Cam tozu içeren bazalt lifli karışım	54

SİMGELER VE KISALTMALAR

a	Küp kenarlarının uzunluğu	(cm)
A ₁	Suya temas eden yüzey alanı	(cm ²)
A ₂	Numune yüzey alanı	(m ²)
BL	Bazalt Lif	
CL	Cam Lif	
CO ₂	Karbondioksit	
CSH	Kalsiyum-Silikat Hidrat	
CT	Cam Tozu	
Dm	16 periyot sonrası kütle kaybı	(gr)
Dv	Toplam hacim kaybı	(cm ³)
F	En büyük yük	(N)
fd	Yarmada çekme dayanımı	(MPa)
K	Kapiler su emme katsayısı	(cm/s ^{1/2})
L	Plakalar arası mesafe	(m)
R	Referans	
R ₁	Direnç	(kohm)
Q	Numunelerin absorbe ettiği su miktarı	(cm ³)
SA	Sülfürik Asit	
T	Zaman	(s)
t	Ses Dalgalarının geçiş süresi	(s)
V	Ultrases geçiş hızı	(m/s)
X	Ses dalgasının aldığı yol	(m)
δR	Birim hacim ağırlık	(gr)
δ	Elektriksel Özdirenç	(kohm.m)
µm	Mikrometre	

1. GİRİŞ

Çimento, yüksek sıcaklıklarda kalker ve kilin pişirilmesi sonucu oluşan klinkerin alçı taşı ile öğütülmesiyle elde edilen hidrolik bağlayıcıdır. Hidrolik bağlayıcılar, su ile temas ettiğinde bağlama özelliğine sahip olan ve sertleştikten sonra dahi suda çözünmeyen malzemelerdir (Bozkurt ve Sayın, 2021). Çimento üretimi sırasında yüksek sıcaklıklara ihtiyaç duyulması, artan CO₂ emisyonları nedeniyle inşaat sektöründe çimento yerine alternatif bağlayıcı malzemelere olan talebi artırmıştır. Araştırmacılar, betonun agresif çevresel koşullara ve hava şartlarına karşı dayanıklılığını artırmak amacıyla silis dumanı, yüksek fırın cürufu, uçucu kül ve cam tozu gibi farklı bağlayıcı malzemelerin kullanılmasıyla ilgili çalışmalar yürütmüşlerdir. Bu çalışmalar, farklı bağlayıcı malzemelerin kullanılmasıyla CO₂ salınımının azaltılması ve bu malzemelerin etkili bir şekilde kullanılarak çevresel etkilerinin minimize edilmesi amacını taşımaktadır (Miller, vd., 2016; Sağlık, vd., 2009; Camacho, vd., 2002).

Çevre dostu inşaat malzemeleri, günümüzde inşaat endüstrisinde önemli bir role sahiptir. Bu bağlamda, geleneksel çimento gibi yüksek karbon ayak izine sahip malzemelerin yerine alternatif bağlayıcı malzemelerin kullanımı, hem çevresel sürdürülebilirlik hem de inşaat sektörünün geleceği açısından büyük önem taşımaktadır (Wen, vd., 2023)

Cam, silis kumun yüksek sıcaklıklarda eritilmesiyle elde edilen bir malzemedir. Üretimi sırasında yüksek enerji tüketimi gerektirir, bu da doğaya fazladan CO₂ salınımına sebep olur. Camın doğada uzun süreler boyunca çözünemeyeceği göz önünde bulundurulduğunda, cam atıkları çevresel açıdan olumsuz etkilere yol açabilir. Özellikle kurşun oksit ve renklendirici maddeler içeren camların depolanması, ağır metal iyonlarının toprak ve yeraltı suyunun kirlenmesine neden olabileceği konusunda yapılan araştırmalar bu endişeyi desteklemektedir. Bu nedenle, cam atıklarının uygun şekilde yönetilmesi, geri dönüşümü ve çevreye zarar vermeden imha edilmesi büyük bir önem taşır (Nassar, vd., 2021). İnşaat endüstrisinde sürdürülebilirlik giderek daha önemli bir tercih haline geldikçe CT, yüksek silika kaynakları beton içerisinde mineral katkı olarak daha yaygın bir şekilde kullanılacağı düşünülmektedir (Asgarian, vd., 2023).

Camın beton içinde kullanımına dair ilk çalışma, 1963 yılında camın beton agregası olarak kullanılmasıyla ilgilidir (Chai, vd., 2013). Son yıllarda ise camın beton içinde kullanılması, literatürde geniş bir yer tutarak önemli bir araştırma konusu haline gelmiştir (Penacho, vd., 2014; Aliabdo, vd., 2016; Mohajerani, vd., 2017; Gerges, vd., 2018; Chandra Paul, vd., 2018).

Camın beton içinde çimento ikamesi olarak %30'dan daha az kullanılması akışkanlaştırıcı kimyasal katkı malzemesi kullanmadan taze haldeki beton özelliklerini iyileştirebileceğini ve dayanımını artırabileceğini göstermiştir (Meyer, vd., 2001). Ancak yüksek oranda cam tozu kullanımının, cam tozunun yapısal özelliklerinden kaynaklanan nedenlerle betonun mekanik özelliklerinde azalmaya yol açabileceği de rapor edilmiştir (Bisht ve Ramana, 2018).

Cam tozunun boyutlarının mümkün olduğunca küçültülmesinin, puzolanik reaksiyonları artırarak betonun mekanik özelliklerini iyileştirdiği birçok araştırmacı tarafından vurgulanmıştır (Serpa, vd., 2013; Shayan ve Xu, 2004; Zidol, vd., 2017).

Beton, inşaat sektöründe yüksek taşıma kapasitesi nedeniyle yaygın bir şekilde kullanılsa da, düşük çekme mukavemeti ve zayıf çatlak direnci nedeniyle yapıların dayanıklılığı ve güvenliği için yeterli olmadığı gözlemlenmektedir (Zhang, vd., 2022). Yapılan araştırmalar, beton içinde lif kullanılmasının çatlakların genişlemesini engelleyebileceğini, statik ve mekanik özellikleri ile dinamik yük direncini artırabileceğini göstermektedir (Zhang, 2011). Ayrıca, bu liflerin betonun elektrik iletkenliği üzerinde önemli bir etkisi olduğu da vurgulanmıştır (Yu, vd., 2022).

Betondaki zayıf noktaların giderilmesi ve bu yapı malzemesinin dayanıklılığının artırılması, lif takviyeli betonların kullanımıyla sağlanabilir. Lifin tipi, miktarı, uzunluğu ve çapı, betonun mekanik özelliklerini etkileyen önemli faktörler arasında yer almaktadır (Li, vd., 2018; Şimşek ve Demir, 2022; Akın, vd., 2022). Beton içinde liflerin homojen bir şekilde dağılımının sağlanması liflerin betonun özellikleri üzerinde yapacağı iyileştirmeleri etkileyen önemli faktörlerdendir.

Günümüzde, yüksek performanslı sentetik lifler, betonun zayıf özelliklerini geliştirmek amacıyla yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu sentetik lifler arasında cam lif, bazalt lif, çelik lif, polipropilen lif gibi çeşitli türler bulunmaktadır.

Betonda kullanılan liflerden biri olan cam lifler, 1200-1500°C sıcaklıkta elektrikli fırınlarda eritildikten sonra istenilen çaplarda deliklerden geçirilip sertleştirilerek elde edilir. Cam liflerin tercih edilme nedeni, yüksek dayanıklılıkları, düşük ısı iletim değerleri, alev almama özellikleri ve kimyasallara karşı direnç göstermeleridir (Valery, vd., 2018).

Betonda kullanılan diğer bir lif türü olan bazalt lifler, bazalt kayalarından üretilen inorganik bir elyafıdır. Bu lifler, kimyasal saldırılara karşı yüksek direnç gösterir, yüksek kesme mukavemetine, yüksek ısı direncine sahiptir ve kolayca elde edilebilirler (Günaydın ve Güçlüer, 2018). Ayrıca, Bazalt liflerin cam liflere göre çekme dayanımı ve gerilme mukavemeti daha yüksek olduğu tespit edilmiştir (Sim, vd., 2005).

Beton yapılarında sürdürülebilir tasarım ve kaliteli malzeme kullanılmasına rağmen çevresel faktörler ve yetersiz bakım nedeniyle hizmet ömürlerinde daha erken bozulmalar meydana gelebilmektedir (Qiu, vd., 2022). Çimentonun hidrasyon ürünleri alkali olduğundan, çimento esaslı yapı malzemeleri asit ortamlarından kolayca etkilenebilirler. Bu nedenle çimento esaslı yapı malzemeleri sülfürik asit, nitrik asit ve hidroklorik asit gibi asitlere karşı dayanıksızdır. Günümüzde, kentsel faaliyetler ve endüstriyel üretimde asit kullanımının artması, çimento esaslı yapı malzemelerinin asit etkisi altında gösterdiği fiziksel ve mekanik özelliklerdeki kaybın daha fazla ilgi çekmesine neden olmuştur (Yurt, vd., 2020). Asidik ortamlar, yeraltı suları, biyogaz tesisleri, tarım alanları, kanalizasyon sistemleri ve deniz suyu gibi çeşitli yerlerde yaygın olarak bulunmaktadır. Asidin zararlı etkilerine karşı önlem alabilmek için bu ortamlarda kullanılacak çimento esaslı yapı malzemelerinin seçimine özen gösterilmesi gerekmektedir (Bertron, vd., 2017; Grengg, vd., 2017).

Sülfürik asidin betona etki etmesi, kılcal gözenekler yoluyla olur. Bu gözenekler, sıvıların ve kimyasalların beton içindeki hareketini yönlendirir ve kontrol eder. Asit etkisi sonucu oluşan zarar görmüş gözenekler, betonun bozulma sürecini hızlandırabilir, betonun genleşmesine ve çatlamasına neden olabilir (Xiao, vd., 2022). Bu nedenle, asit etkisi altındaki betonun gözenekli yapısının anlaşılması, yapı malzemesinin dayanıklılığı açısından kritik bir öneme sahiptir.

Bugüne kadar gerçekleştirilen araştırmalarda, cam tozunun beton karışımlarındaki etkilerini ve lif takviyeli betonun fiziksel ve mekanik özelliklerini incelemiştir. Ayrıca, bazı çalışmalarda cam tozunun ve liflerin betonun asit etkisi altında nasıl davrandığı da araştırılmıştır. Bu çalışma, cam tozu kullanılarak elde edilen lifli ve lifsiz betonların normal koşullar ve asit etkisi altındaki fiziksel ve mekanik özelliklerini değerlendirmekte olup, iki farklı lif türünün karışımlara etkisini karşılaştırmaktadır. Bu nedenle, çalışma sadece cam tozunun kullanımıyla sınırlı kalmamakla birlikte, aynı zamanda farklı lif türlerinin de karışımlara olan etkisini incelemektedir.



2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Bu tez çalışması, CT, BL ve CL kullanımının betonun mekanik ve fiziksel özelliklerini nasıl değiştirdiğini ve asit etkisi altında nasıl davrandığını incelemiştir. Bu nedenle, tez çalışmasının bu bölümü, CT ve lif kullanımının betonun mekanik ve fiziksel özelliklerdeki değişimini ve asit saldırısına maruz kalan betonlar üzerinde yapılan çeşitli çalışmaları içermektedir.

Dayı, vd. (2013), yaptığı çalışmada, zeolit, uçucu kül ve atık cam gibi malzemelerin portland kompoze çimento üretimindeki etkileri incelenmiştir. Çalışmada geleneksel portland çimentosu ile ağırlıkça %5 ve %10 oranlarında zeolit, uçucu kül ve atık cam tozu malzemeleri birleştirilerek hibrit karışımlar oluşturulmuştur. Üretilen bu hibrit karışımların dayanımı, kontrol numunesi ile karşılaştırılmıştır. Kontrol numunesinin tüm deney sonuçlarında diğer karışımlardan daha yüksek bir dayanıma sahip olduğu ancak üretilen hibrit çimentoların TS EN 197-1 standartlarına uygun olduğu belirlenmiştir.

Vijayakumar, vd. (2013), yaptığı çalışmada, atık CT'nin farklı oranlarda çimento ile yer değiştirmesiyle hazırlanan beton karışımının fiziksel ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Çalışmada 330 kg/m^3 çimento kullanılmıştır. Su/çimento oranı tüm karışımlarda 0.53 olarak sabit tutulmuştur. Malzemelerin karışım oranı ise 1:2.33:3.6 olarak belirlenmiştir. Hazırlanan numunelerin 28 ve 60 gün kürlenme süresi sonunda basınç, çekme ve eğilme dayanımı testleri uygulanmıştır. Sonuç olarak CT miktarının artmasıyla basınç, çekme ve eğilme dayanımı değerlerinin arttığını tespit etmişlerdir.

Al-Obeidy ve Khalil (2016), yaptıkları çalışmada, yüksek mukavemetli çevre dostu beton üretimi amacıyla çimento yerine %10, %15, %20, %25 ve %30 oranlarında CT içeriklerine sahip beton numuneleri, referans numuneyle karşılaştırılarak fiziksel ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, %10 ve %15 CT içeren beton numuneleri, 28 ve 60 günlük kürlenme sürelerinde basınç dayanımında artış göstermiştir. Ancak CT miktarı arttıkça basınç dayanımının azaldığı gözlemlenmiştir. Çalışma sonucunda, ideal CT kullanım oranının %15 olduğu belirlenmiştir.

Siad, vd. (2016), yaptıkları çalışmada, farklı oranlarda CT kullanılarak elde edilen harçların 12 hafta boyunca normal kür koşullarında bekletildikten sonra %5 asit

çözültisinde bekletilerek asit etkisi altındaki davranışları incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, CT içeren karışımların basınç dayanımı, ultrasonik geçiş hızı ve elektriksel özdirenç değerleri açısından en iyi sonuçları %30 CT ilave edilen harç karışımının verdiği tespit edilmiştir. CT içeren karışımların sülfürik asit etkisi altında kontrol numunesine göre daha iyi performans gösterdiği de gözlemlenmiştir.

Yassen, vd. (2018), yaptığı çalışmada, CT'nin farklı oranlarda çimento ile yer değiştirmesiyle hazırlanan beton karışımının fiziksel ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Beton karışımlarında su/bağlayıcı oranı 0.32'de sabit tutulmuştur. Kimyasal katkı olarak yüksek performanslı süper akışkanlaştırıcı beton katkısı kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, %20 cam tozu kullanımıyla 28 günlük süreçte daha yüksek basınç dayanımı elde edilirken, %15 CT kullanımıyla daha yüksek basınç dayanımı 56 günlük süreçte gerçekleştiği raporlanmıştır. Ultrasonik ses geçiş hızı sonuçlarına göre, tüm CT karışımlarının kontrol numunesine göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. %20 CT kullanımının 28 günlük süreçte en iyi sonuç verdiği bulunmuştur.

Horszczaruk ve Brzozowski (2019), yaptıkları çalışmada CT'nin farklı oranlarda çimento ile yer değiştirmesiyle hazırlanan beton karışımının fiziksel ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, %5 oranında cam tozu kullanımı, 28 ve 56 günlük kütleme sürelerinin sonunda mekanik özelliklerde önemli bir değişikliğe neden olmadığını tespit etmişlerdir. Ancak, bu oranda CT kullanımı harcın işlenebilirliğinde iyileşme ve su emme değerinde ise azalma gerçekleştiğini raporlamışlardır. CT'nin %10 ve %20 oranlarında kullanılması harcın mekanik özelliklerini olumsuz etkilemiş ve bu oranlardaki CT ilavesiyle mekanik dayanım değerlerinde azalma gözlemlendiğini belirtmişlerdir.

Kalakada, vd. (2019), yaptığı çalışmada, çimento yerine ikame edilen iri CT'nin (≤ 150 μm) beton içerisinde kullanımının etkisini incelemiştir. Yapılan çalışmada, CT miktarına bağlı olarak, kontrol numunesine göre basınç dayanımında artışlar gözlemlenmiştir. %30 CT ikameli karışımda klorür iyonlarına karşı direnç %32 oranında arttığı raporlanmıştır. Ayrıca, karışımdaki CT oranı arttıkça çökme değerleri ve hidratasyon ısısının azaldığı tespit edilmiştir.

Elaqra, vd. (2019), yaptığı çalışmada, CT'nin farklı oranlarda çimento ile yer değiştirmesiyle elde edilen beton karışımlarının iki farklı karıştırma yöntemi ile hazırlanarak mekanik ve fiziksel özellikleri karşılaştırarak incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar göre geleneksel karıştırma yöntemleri kullanılarak elde edilen betonlarda, cam tozu ikamesinin artmasıyla erken yaşlarda basınç dayanımının azaldığı ancak ilerleyen yaşlarda en yüksek basınç dayanımını %20 cam karışımının sağladığı gözlemlenmiştir. Yeni karıştırma yöntemi kullanılarak yapılan çalışmada ise, geleneksel karıştırma yöntemine göre daha yüksek basınç dayanımı elde edildiği görülmüştür. Bu yeni yöntemin kullanılmasıyla, %10 cam tozu ilavesi ile elde edilen betonun kontrol numunesine göre daha yüksek basınç dayanımına sahip olduğu bulunmuştur.

Letelier, vd. (2019), yapılan çalışmada, çimento yerine %10, %20 ve %30 oranlarında ve farklı boyutlarda (38 µm, 45 µm, 75 µm) öğütülen CT kullanımının harç karışımlarına etkisi ayrı ayrı incelenmiştir. Hazırlanan numuneler üzerinde eğilme ve basınç dayanımı, ultrasonik darbe hızı, su emme, gözeneklilik ve kılcal su emme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlarda, 38 µm boyutundaki CT'nin, çimento ile %30 oranında yer değiştirilmesi ile elde edilen karışımın çimento ile başarılı bir şekilde etkileşime girebildiği gözlemlenmiştir. Bununla birlikte, CT boyutunun deneyler üzerinde önemli bir etkisi olduğu sonucuna varılmıştır.

Dünder, vd. (2020), yaptığı çalışmada, iki farklı lif türünün kullanıldığı 300 dozajlı betonda hacimce %0.5, %1, %1.5 ve %2 oranlarında BL ve karbon lif ikamesi yapılmıştır. Çalışmanın sonuçlarına göre, lif oranının artmasıyla birlikte su emme ve porozite değerlerinde artış gözlemlenmiştir. Basınç dayanımı, eğilme dayanımı, ultra ses geçiş hızı ve aşınma deneyleri incelendiğinde BL kullanımının karbon life göre daha iyi sonuçlar verdiği tespit edilmiştir.

Çınar, vd. (2020), yaptığı çalışmada, farklı oranlarda öğütülmüş CT ve hacimce farklı oranlarda polipropilen lif kullanarak elde ettikleri harç karışımının taze, fiziksel ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Bu çalışmanın sonuçlarına göre, CT miktarı arttıkça harç karışımının yayılma değeri artmış ancak lif oranının artmasıyla birlikte yayılma değerinde azalmalar görülmüştür. CT miktarının artmasıyla basınç dayanımının azaldığı, lif kullanılması ile eğilme dayanımının arttığı, CT ve lifin birlikte

kullanılmasında ise su emme ve porozite değerinin azaldığı gözlemlenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda, ideal CT kullanım oranının %10 olduğu tespit edilmiştir.

Mehta ve Ashish (2020), yaptığı çalışmada, silis dumanı ve atık CT kullanılarak elde edilen betonun işlenebilirlik, dayanım ve dayanıklılık özellikleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çalışmanın sonuçlarına göre, CT'nin miktarının artmasıyla betonun çökme özelliğinin arttığı, aynı zamanda betonun dayanımının ve su geçirgenliğinin azaldığı gözlemlenmiştir. Sonuç olarak, çimento yerine %20'ye kadar CT ilavesinin betonun sertleşmiş ve uzun vadeli özelliklerini iyileştirmek için kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Yasouj, vd. (2020), yaptığı çalışmada, beton karışımlarında %20 oranında atık CT, %0.2 oranında BL, ve %0.1 oranında karbon nanotüp kullanımını incelemişlerdir. Çalışma sonuçlarına göre, CT kullanımının erken yaşlarda basınç dayanımını olumsuz etkilediği, BL kullanımında ise erken yaşlarda olumlu bir etki yaptığı görülmüştür. CT ve BL'nin bir arada kullanılması durumunda basınç dayanımı artmıştır. Eğilme ve yarmada çekme dayanımları deneyinde de benzer sonuçlar elde edilmiştir. Su emme deneyi sonuçlarına göre, sadece CT içeren karışımın daha düşük su emme değerine sahip olduğu, BL içeren karışımların ise daha yüksek su emme değerine sahip olduğu gözlemlenmiştir.

Bisht, vd. (2020), yaptığı çalışmada, ince agrega yerine farklı oranlarda ikame edilen CT karışımının SA etkisi altında gösterdiği performans incelenmiştir. Bu çalışmanın sonuçlarına göre, CT miktarı arttıkça numunelerde süper akışkanlaştırıcı katkı kullanma ihtiyacının arttığı görülmüştür. Basınç dayanımı sonuçlarına bakıldığında, 28, 90 ve 180 günlük test sonuçlarında %18 ile %20 arasında değişen CT ikamesinin, referans numunesine göre daha iyi sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Asit saldırısı altında ise beton karışımında numune kütlelerinin arttığı ve CT miktarının arttıkça kütle kaybının azaldığı raporlanmıştır. Asit etkisi altında basınç dayanımına bakıldığında, 7 günlük basınç dayanımının CT ikameli karışımlarda daha düşük olduğu bulunmuştur.

Orouji, vd. (2021), yaptığı çalışmada, agregaların kısmi ikamesi olarak farklı oranlarda kullanılan CT ile farklı oranlarda ilave edilen polipropilen lif ile elde edilen karışımların basınç ve eğilme dayanımları karşılaştırılmıştır. Çalışma sonuçlarına göre, lifsiz karışımlarda en iyi sonucun %25 CT içeren numunede, lifli karışımlarda

ise lif yüzdesinin artmasıyla basınç dayanımının azaldığı görülmüştür. En ideal lif yüzdesinin %1.5 olduğu belirtilmiştir. Eğilme dayanımı açısından ise %25 CT ve %1.5 polipropilen lif ile hazırlanan karışımın en iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir. CT içeren numunelerin ilerleyen yaşlardaki etkisinin daha belirgin olduğu tespit edilmiştir.

Balasubramanian, vd. (2021), yaptığı çalışmada, çimento ile farklı oranlarda ikame edilen atık CT ve iri agrega yerine kullanılan farklı oranlarda atık plastik ile elde edilen betonun fiziksel ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Çalışmanın sonuçlarına göre, CT miktarının arttıkça çökme değerinde bir artış olduğu ve en yüksek çökme değerinin CT20 karışımında olduğu tespit edilmiştir. Basınç dayanımı değerine bakıldığında ise en yüksek değer CT20 karışımında olduğu görülmüştür. Su emme deneyinde de basınç dayanımına benzer sonuç vermiştir. Magnezyum sülfat ve hidroklorik asit etkisi altında en iyi sonucun CT20 numunesinde görüldüğü belirtilmiştir. Bu durum, CT ikameli betonların agresif ortamlara dayanıklılığının artabileceğini göstermektedir.

Li, vd. (2021), yaptığı çalışmada, farklı oranlarda su-çimento (s/b) oranına sahip beton karışımları ile mineral katkı olarak farklı oranlarda ikame edilen CT ile elde edilen beton numunelerinin 28, 56 ve 112. günlerde su emme, basınç dayanımı ve yarmada çekme dayanımı değerleri karşılaştırılmıştır. Çalışmanın sonuçlarına göre, basınç dayanımı açısından, atık CT miktarı 28. günde R karışımına göre daha düşük çıktığı ancak ilerleyen günlerde CT'nin basınç dayanımını artırdığı gözlemlenmiştir. En yüksek basınç dayanımı değeri %20 CT ikameli karışımda elde edilmiştir. Yarmada çekme dayanımı değerleri ise basınç dayanımı ile benzer sonuçlar göstermiştir. CT miktarının artmasıyla betonun su geçirgenliğinin azaldığı görülmüştür. En düşük su geçirgenliği değerinin %25 CT ikameli karışımlarda elde edildiği belirtilmiştir.

Nassar, vd. (2021), yaptığı çalışmada, çimento ile ağırlıkça %20 oranında ikame edilen atık CT, iki farklı su/bağlayıcı (s/b) oranına sahip beton karışımlarının uzun süreli kür koşulları altında dış mekân ve laboratuvar şartlarında performanslarını test etmiştir. Dış mekân testlerinde, CT ikameli betonun kontrol numunesine kıyasla basınç dayanımının arttığı gözlemlenmiştir. Laboratuvar testlerinde de CT ikameli betonun basınç ve eğilme dayanımında artış olduğu tespit edilmiştir.

Atabey ve Ay (2021), yaptığı çalışmada, atık CT kullanılarak üretilen geopolimer harçların fiziksel ve mekanik özelliklerini kalsiyum alüminat çimentosu (Isıdaç40 ve

Refro50) ve farklı kür koşullarının etkisi altında incelenmiştir. Çalışmanın sonuçlarına göre, farklı çimento oranları ve kür koşulları harçların özelliklerini etkilemiştir. Üretilen harçların 7 ve 28 günlük basınç dayanım değerleri incelendiğinde, hava+etüv küründe %5 Isıdaç40 çimentosu ile üretilen harçların en yüksek dayanım değerlerine sahip olduğu görülmüştür. Bu harçlar, 7 günlük süreçte 24,2 MPa ve 28 günlük süreçte 25,5 MPa basınç dayanımına ulaştığını tespit etmiştir.

Yan, vd. (2021), yaptığı çalışmada, hacimce farklı oranlarda BL, polipropilen lif ve çelik lif ile hazırlanan yüksek performanslı lifli betonun özellikleri incelenmiştir. Çalışmanın sonuçlarına göre, lif kullanımıyla birlikte akışkanlık özelliğinin azaldığı görülmüştür. Lif türleri karşılaştırıldığında, polipropilen lifin en yüksek akışkanlık azalmasına neden olduğu, ardından çelik lif ve en düşük azalmayı ise BL sağladığı belirtilmiştir. Lif kullanılan numunelerin basınç dayanımının kontrol numunesine göre daha düşük çıktığı ayrıca lif oranı arttıkça basınç dayanımının azaldığı tespit edilmiştir. Eğilme dayanımına bakıldığında ise tüm lif türlerinin kontrol numunesine göre daha yüksek çıktığı görülmüştür.

Bouty ve Homsı (2021), yaptığı çalışmada, CT'nin çimento ile farklı oranlarda ikame edilmesiyle elde edilen karışıma etkileri incelenmiştir. Bu çalışmada, 25 MPa ve 32 MPa olmak üzere iki farklı beton karışımı üretilmiştir. Hazırlanan numuneler üzerinde çökme, akış testi, hava içeriği testi, eğilme ve basınç dayanımı ile su emme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın sonuçlarına göre, çimento ile CT arasındaki değişiklikler taze betonun özellikleri üzerinde önemli bir etki etmediği ancak eğilme dayanımı açısından %10 CT içeren 25 MPa beton karışımında %17'lik bir artış gösterdiği görülmüştür. Diğer karışımlarda ise CT oranının artmasıyla birlikte eğilme dayanımında azalmalar meydana geldiği raporlanmıştır. CT miktarının artmasıyla birlikte basınç dayanımında azalmalar gözlemlenmiştir. 25 MPa beton karışımlarında su emme oranlarının kontrol karışımına göre arttığı, 32 MPa beton karışımlarında ise %10 CT içeren numune dışında azaldığı tespit edilmiştir.

Boukhelf, vd. (2021), yaptığı çalışmada, %20 ve %30 CT ikamesi ile aynı ikame oranlarına sahip %5 silis dumanı içeren betonların ısı ve nem emme davranışları incelenmiştir. Çalışmanın sonuçlarına göre, CT kullanımı betonun kıvamını önemli ölçüde iyileştirmiştir. Basınç dayanımı değeri, CT içeren numunelerde kontrol

numunesine göre daha düşük olsa da, 28 ve 91. gün sonunda tatmin edici bir performans gösterdiği belirtilmiştir. CT ikamesi, betonun su emme değerini artırmıştır.

Paul, vd. (2022), yaptığı çalışmada, iki farklı beton sınıfında mineral katkı olarak kullanılan %0, %10, %20, %30 ve %40 oranlarına sahip CT karışımının mekanik ve dayanıklılık özellikleri karşılaştırılmıştır. Çalışmanın sonuçlarına göre, CT miktarı arttıkça işlenebilirlik değerinde artış gözlemlenmiştir. Basınç dayanımı deneyine bakıldığında, iki farklı beton tipinde %30 ikameli CT karışımının basınç dayanımının diğerlerinden daha yüksek olduğu bulunmuştur. Su emme deneyine göre, en yüksek su emme değerinin kontrol numunesinde olduğu tespit edilmiştir.

Paktiawal ve Alam (2022), yaptığı çalışmada, betonun çekme dayanımını artırmak için farklı oranlarda ve sabit uzunlukta zirkonyumca zenginleştirilmiş CL ve BL kullanarak elde edilen karışımların basınç dayanımı, çekme dayanımı ve su emme deney sonuçları karşılaştırılmıştır. Çalışmanın sonuçlarına göre, lif kullanılmasıyla basınç dayanımında bir artış gözlemlenmiştir. CL ve BL'nin basınç dayanımı ve su emmeye etkisi karşılaştırıldığında ise BL'nin CL'ye göre daha iyi sonuç verdiği tespit edilmiştir.

Almeshal, vd. (2022), yaptığı çalışmada, mineral katkı olarak kullanılan CT ile hazırlanan karışımın amonyum nitrat çözeltisine üç farklı kür süresinde maruz bırakılması incelenmiştir. Çalışmanın sonuçlarına göre, camsı harç yoğunlukları, ilerleyen günlerde CT yüzdesinin artmasıyla azalmıştır. Basınç dayanımına bakıldığında, maksimum basınç dayanımının kontrol numunesinden sonra %10 CT karışımında olduğu tespit edilmiştir.

Dünder, vd. (2022), yaptığı çalışmada, çimento ile farklı oranlarda CT ve uçucu kül ikamesi kullanılarak elde edilen harç numuneleri üzerinde yayılma, elektriksel özdirenç, basınç ve eğilme dayanımı deneyleri yapılmıştır. Sonuçlara göre, CT kullanımı, yayılma değerlerinde kontrol numunesine göre artışa neden olmuştur. Erken dönemde CT ikamesi, elektriksel özdirenç değerini düşürmüştür ancak numuneler yaşlandıkça özdirençte artışlar meydana gelmiştir. Eğilme ve basınç dayanımı değerlerine bakıldığında, CT'nin kullanımının azalmaya yol açtığı, özellikle karışım oranları arttıkça azalışın daha belirgin olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, hiçbir

numunenin kontrol numunesini geçemediği, ancak numunelerin yaşlandıkça dayanım değerlerinin arttığı gözlemlenmiştir.

Zhang, vd. (2023), yaptığı çalışmasında, çimento ile farklı oranlarda ikame edilen CT kullanımının betonun gözenek yapısı, mekanik özellikleri ve mikroyapı değişimleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çalışmanın sonuçlarına göre Atık CT'nin kullanılması, betonun gözenek yapısını iyileştirip mikroagrega etkisi yaptığı tespit edilmiştir. CT'nin ilerleyen yaşlarda betonun basınç dayanımına olumlu etki sağladığı gözlemlenmiştir.

Asgarian, vd. (2023), yaptığı çalışmasında, polipropilen lif ile güçlendirilmiş çimentonun yerine %5 ve %10 oranlarında ince CT ve ultra ince CT olmak üzere iki farklı CT'nin kullanılmasının mekanik performans üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çalışmanın sonuçlarına göre, CT'nin beton karışımına dahil edilmesi, basınç dayanımını önemli ölçüde arttırdığı, en yüksek basınç ve yarmada çekme dayanımı değerinin ultra ince CT içeren numunelerde olduğu görülmüştür. Lif kullanımının artmasıyla betonda boşluk miktarının artabileceği ve bu nedenle basınç, çekme ve su emme değerlerinde azalmaların gözlemlenebileceği belirtilmiştir.

Anandaraj, vd. (2023), yaptığı çalışmasında, CT'nin çimento ile farklı oranlarda (%5, %10, %15 ve %20) yer değiştirmesiyle ideal karışım oranını ve aynı zamanda farklı oranlarda %0.5, %1, %1.5 ve %2 lif ilavesiyle elde edilen karışımları mekanik ve fiziksel deneylere tabi tutarak en iyi karışım oranının belirlenmesi incelenmiştir. Çalışmanın sonuçlarına göre, CT miktarı arttıkça basınç ve yarmada çekme mukavemetinin arttığı gözlemlenmiştir. En ideal karışım oranının %15 olduğu belirtilmiştir. Lif kullanılan numunelerin lif kullanılmayan numunelere göre basınç ve yarmada çekme deneylerinde daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. En ideal lif oranının %1 olduğu tespit edilmiştir.

3. MALZEME VE YÖNTEM

Çalışmanın bu bölümünde numunelerin üretilmesinde kullanılan malzeme özellikleri ile ilgili bilgiler, yöntem bölümünde ise üretilen beton numuneleri üzerinde gerçekleştirilen deneyler yer almaktadır.

3.1. Malzemeler

3.1.1. Çimento

Beton numunelerinin üretilmesinde bağlayıcı olarak TS EN 197-1 standartlarına göre üretilmiş Çimsa Çimento San. Tic. A.Ş. firmasından temin edilen CEMI-42.5/R tipi Portland çimentosu kullanılmıştır (TS EN 197-1, 2012).Özgül yüzeyi $3054 \text{ cm}^2/\text{g}$ ve özgül ağırlığı 3.11 g/cm^3 olan çimentonun fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3. 1. CEM I 42.5/R çimentosunun kimyasal ve fiziksel özellikleri

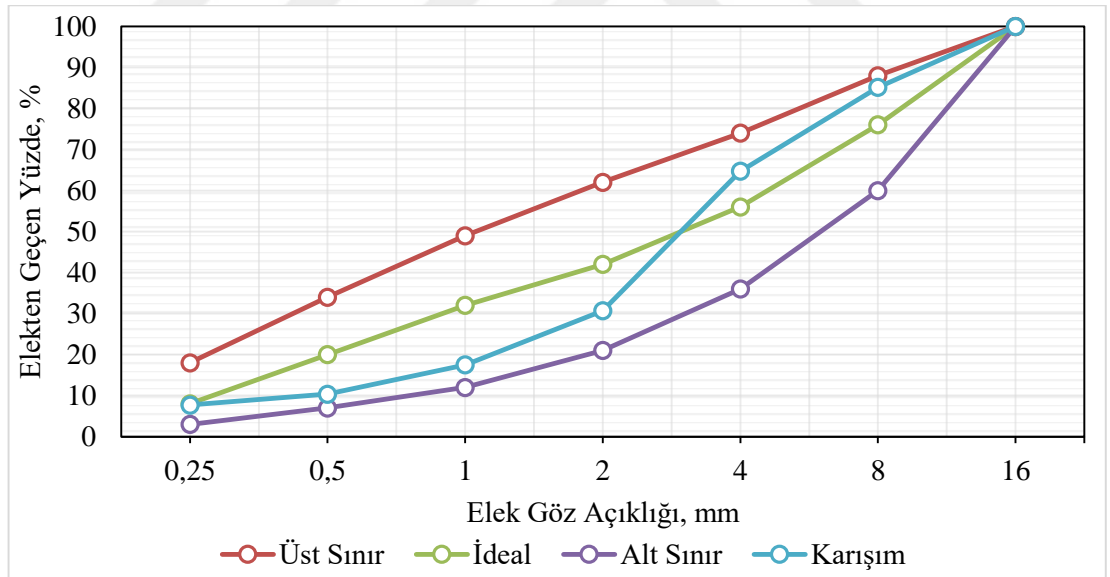
	Kimyasal Analiz	Analiz Sonuçları (%)
Kimyasal Özellikler	Al_2O_3	5.65
	SiO_2	20.62
	CaO	62.08
	Fe_2O_3	4.05
	K_2O	0.69
	SO_3	2.57
	MgO	2.55
	Na_2O	0.27
	Kızdırma Kaybı	1.55
	Çözünmez Kalıntı	0.54
	Fiziksel Özellikler	Yoğunluk (gr/cm^3)
Blaine- İncelik (cm^2/gr)		3400
Serbest CaO		0.3
Serbest Kireç		1.21
Priz Başlangıcı (dk)		135
Al_2O_3		5.65

3.1.2. Karışım Suyu

Beton numunelerin üretiminde kullanılan su TS EN 1008 standardına göre içilebilir nitelik taşıyan ve içerisinde betona zarar verebilecek organik veya inorganik madde olmayan sıcaklığı 20 ± 5 °C olan Osmaniye ili şebeke suyu kullanılmıştır (TS EN 1008, 2003).

3.1.3. Agregası

Numune üretiminde iki tür agrega kullanılmıştır. İnce agrega olarak kullanılan kırma kum (0-4 mm), beton içindeki boşlukları doldurmak, iri agrega olarak kullanılan kırma taş (4-12 mm) ise betonun dayanımını artırmak amacıyla tercih edilmiştir. Bu agregalar, TS EN 706 ve EN 12620 standartlarına uygun olarak Osmaniye ili sınırları içinde bulunan bir ocaktan temin edilmiştir (TS 706, 2019). Kırma kum (%45) ile kırma taşın (%55) belirli oranlarda karıştırılmasıyla elde edilen karışımın granülometrik eğrisi Şekil 3.1'de gösterilmiştir. Karışımın incelik modülü 3.839 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3. 1. Agregası Granülometrisi

3.1.4. Kimyasal Katkı

Beton karışımları hazırlanırken yüksek oranda süper akışkanlaştırıcı (Fosroc Gantre 142) kimyasal katkı kullanılmıştır. Bu kimyasal katkının kullanım oranı, her karışım

için sabit tutulmuş ve bağlayıcı miktarının %1.2'si olarak seçilmiştir. Kullanılan kimyasal katkıının teknik özellikleri Çizelge 3.2'de ayrıntılı olarak verilmiştir.

Çizelge 3. 2. Kimyasal katkıının fiziksel ve kimyasal özellikleri

Özellikler	Değerler
Malzemenin Yapısı	Polikarboksilik eter esaslı
Görünüm	Kahverengi- Sıvı
Özgül Ağırlık	25 °C'de 1.18 kg/L
pH Değeri	5-7
Klor İçeriği	En fazla %0.1
Hava Sürüklenmesi	En fazla %2

3.1.5. Cam Tozu

Çalışmada mineral katkı olarak kullanılan 0 - 63 mikron tane büyüklüğüne sahip CT, Akcihan Madencilik firmasından temin edilmiştir. Kullanılan CT'nin kimyasal özellikleri Çizelge 3.3'te detaylı olarak sunulmuştur.

Çizelge 3. 3. CT'nin kimyasal bileşik içerik oranları (%)

	Kimyasal Analiz	Analiz Sonuçları (%)
	Kimyasal Özellikler	SiO ₂
CaO		12.45
Na ₂ O		12.05
MgO		2.74
Al ₂ O ₃		2.62
Fe ₂ O ₃		1.42
Diğer		0.95
Fiziksel Özellikler		Yoğunluk (gr/cm ³)
	Kızdırma kaybı (%)	0.80
	Özgül yüzey (m ² /kg)	133
	Ergime Derecesi (°C)	730 °C
	pH Değeri	5.6 – 7.5

3.1.6. Sülfürik Asit

Çalışmada kullanılan SA, Adana ilinde bulunan Nusret Yapı Kimyasalları AŞ firmasından temin edilmiştir. SA'ya ait özellikler Çizelge 3.4'te detaylı olarak verilmiştir.

Çizelge 3. 4. SA ait özellikler

Özellik	Açıklama
Formül	H ₂ SO ₄
Molar kütle (g/mol)	98.079
Yoğunluk (g/cm ³)	1.83-1.84
Erime noktası (°C)	10
Kaynama noktası (°C)	337
Safılık (%)	95-98

3.1.7.1 Cam Lif

Çalışmada kullanılan 6 mm boyutlarındaki CL, Fiber Elyaf Kompozit A.Ş firmasından temin edilmiştir. Bu lifin teknik özellikleri Çizelge 3.5'da ayrıntılı olarak verilmiş olup, görünümü Şekil 3.2'te gösterilmiştir.

Çizelge 3. 5. CL'ye ait teknik özellikler

Lif Çeşidi	Lif Boyu (mm)	Lif Çapı (µm)	Özgül Ağırlık (mg/m ³)	Elastisite Modülü (Gpa)	Çekme Muvakemeti (Gpa)
Cam Lif	6	13	2.68	72	1.7



Şekil 3. 2. Kullanılan CL'nin görünümü

3.1.7.2 Bazalt Lif

Çalışmada kullanılan 6 mm boyutlarındaki BL, Spintex firmasından temin edilmiştir. Bu lifin teknik özellikleri Çizelge 3.6’da ayrıntılı olarak verilmiş olup, görünümü Şekil 3.3’te verilmiştir.

Çizelge 3. 6. BL’ye ait teknik özellikler

Lif Çeşidi	Lif Boyu (mm)	Lif Çapı (µm)	Özgül Ağırlık (mg/m ³)	Elastisite Modülü (Gpa)	Çekme Mukavemeti (Gpa)
Bazalt Lif	6	9 – 23	2,60 – 2,80	89	4.83



Şekil 3. 3. Kullanılan BL’nin görünümü

3.2.Yöntem

Bu bölümde; agrega, çimento, CT, CL, BL, kimyasal katkı ve karışım suyu kullanılarak üretilen numunelerin hazırlanması, kalıplara yerleştirilmesi, kür edilmesi ve numunelere uygulanan deneyler ayrıntılı bir şekilde açıklanmıştır. Çalışma kapsamında üretilen beton numuneleri üzerinde yapılan deneyler, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Malzemeleri Laboratuvarı’nda gerçekleştirilmiştir.

3.2.1 Beton Numunelerin Hazırlanması

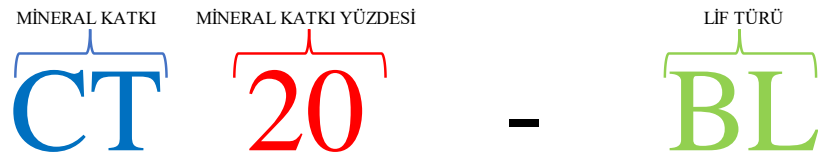
Çalışma kapsamında hazırlanan numuneler TS 802 standardına uygun olarak üretilmiştir (TS 802, 2016). Mineral katkı olarak çimento ile ağırlıkça 3 farklı oranda (%10, %20 ve %30) CT kullanılmıştır. Betonun çekme dayanımını artırmak, betonda

lif etkisini incelemek ve iki farklı lif türünü karşılaştırmak amacıyla karışımlara 32 gr CL ve BL ilave edilmiştir. Ayrıca işlenebilirliği artırmak için, özgül ağırlığı 1.3 kg/dm³ olan bağlayıcı madde miktarının %1.2 oranında akışkanlaştırıcı katkı malzemesi dahil edilmiştir. Karışımların hazırlanmasında kullanılan betoniyer, Şekil 3.4'de gösterilmiştir ve numunelerin üretiminde kullanılan malzeme miktarları Çizelge 3.7'de ayrıntılı olarak verilmiştir.



Şekil 3. 4. Karışımların hazırlanmasında kullanılan betoniyer

Bu çalışma kapsamında toplamda 12 farklı numune hazırlanmıştır. Numunelerin kodlama biçimi Şekil 3.5'de açıklanmıştır. Bu kodlama şemasında 'CT', cam tozunu; 'BL', bazalt lifini; 'CL', cam lifini; ve '20', beton karışımında çimento ile ağırlıkça eklenen CT yüzdesini temsil etmektedir.



Şekil 3. 5. Numunelerin Kodlama Şeması

Çizelge 3. 7. Numunelerin üretilmesinde kullanılan malzeme miktarları (1m³)

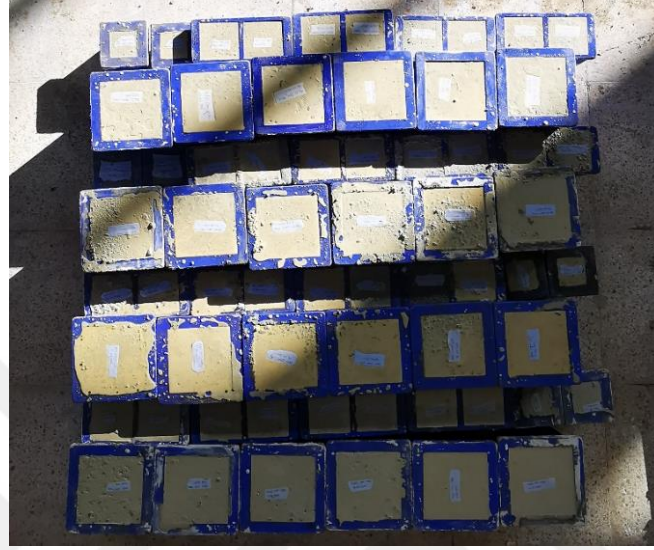
İsim	Çimento (kg)	Cam Tozu (kg)	Su (kg)	Kırma Kum (kg)	Kırma taş (kg)	BL (kg)	CL (kg)	Katkı (kg)
R	400	-	167	990	833	-	-	5.66
R-CL						1	-	
R-BL						-	1	
CT10	360	40		982	826	-	-	
CT10 – CL						1	-	
CT10 – BL						-	1	
CT20	320	80		973	820	-	-	
CT20 – CL						1	-	
CT20 – BL						-	1	
CT30	280	120		965	813	-	-	
CT30 – CL						1	-	
CT30 – BL						-	1	

TS 802'ye uygun hazırlanan beton karışımları, betoniyer yardımıyla karıştırıldıktan sonra işlenebilirliklerini değerlendirmek amacıyla TS EN 12350-2 standardına uygun olarak slump deneyine tabi tutulmuştur. Slump deneyi sonucunda elde edilen çökme değerleri, Şekil 3.6'da gösterildiği gibi ölçülmüştür (TS EN 12350-2, 2019).



Şekil 3. 6. Slump (Çökme) deneyi

Slump deneyine tabi tutulan numuneler, önceden yağlanmış 100 ve 71 mm'lik küp numune kaplarına doldurulmuştur. Bu numuneler, sarsma tablasından alındıktan sonra üst yüzeyleri düzeltilmiştir. Daha sonra her beton numunesinin yüzeyine etiketler yapıştırılmıştır. Numuneler, 24 saat boyunca kalıplarda bekletildikten sonra kür havuzuna alınmıştır. Bu süreç Şekil 3.7'de gösterilmiştir.



Şekil 3. 7. Kalıplara alınmış numuneler

3.2.2. Beton Numunelerinin Kürlenmesi

Numuneler, TS EN 12390-2 standardına uygun olarak 24 saat boyunca kalıplarda bekledikten sonra sıcaklığı 20 ± 2 °C ve %100 nem seviyesine sahip olan kür havuzundan 7 ve 28 gün bekletilmiştir. Bu süre boyunca kür havuzunda bekletilen numuneler Şekil 3.8'de gösterilmiştir (TS EN 12390-2, 2019).



Şekil 3. 8. Kür havuzundaki numunelerin görünümü

3.2.3. Beton Numunelerinin SA İçerisinde Bekletilmesi

SA'nın beton numuneleri üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla, 28 günlük kürlenme süresini tamamlayan numuneler 7 ve 28 gün boyunca 1 molarlık SA  zeltisine maruz bırakılmıştır. Bu asit  zeltisi, 5 litrelik kaplarda hazırlanmıştır.  zeltinin pH değeri, pH metre ve pH test k ğıdı kullanılarak sürekli olarak kontrol edilmiş ve pH değeri 0'da tutulmaya çalışılmıştır. SA'nın hazırlanmasına ait görsel Şekil 3.9'da sunulmuştur.



Şekil 3. 9. SA'nın hazırlanması

3.2.4. Deneysel  alışmalar

Bu bölümde, üretilen beton numunelerinin fiziksel ve mekanik özelliklerini normal k r koşulları ve SA etkisi altındaki değişimini incelemek amacıyla gerçekleştirilen deneylerden bahsedilmiştir. Bu  alışma kapsamında, numunelere farklı yaşlarda uygulanan deneyler  izelge 3.8'de ayrıntılı olarak listelenmiştir.

Çizelge 3.8. Deney Listesi

Yapılacak Deney	Deney Standartı	Deney Yaşı	Saklama Koşulları	Numune Geometrisi (mm)
Slump/ Çökme	TS EN 12350-2			
Basınç Dayanımı	TS EN 12390-3	7,28	20 °C su kürü	100x100x100
Yarmada Çekme Dayanımı	TS EN 12390-6	7,28	20 °C su kürü	100x100x100
Su Emme	TS EN 1170-6	28	20 °C su kürü	100x100x100
Porozite	TS EN 1170-6	28	20 °C su kürü	100x100x100
Kapiler Su Emme	ASTM C1585-13	28	20 °C su kürü	100x100x100
Ultra Ses Geçiş Hızı	TS EN 12504-4	28	20 °C su kürü	100x100x100
Arşimet Deneyi	TS EN 1170-6	28	20 °C su kürü	100x100x100
Elektriksel Özdirenç	ASTM C1760	28	20 °C su kürü	100x100x100
Aşınma (Böhme)	TS 2824	28	20 °C su kürü	71x71x71
Asit Etkisi Altında Ağırlık Kaybı	TS EN 1170-6	28+7, 28+28	1 molarlık asit çözeltisi	100x100x100
Asit Etkisi Altında Basınç Dayanımı	TS EN 12390-3	28+7, 28+28	20 °C su kürü	100x100x100
Asit Etkisi Altında Yarmada Çekme Dayanımı	TS EN 12390-6	28+7 28+28	1 molarlık asit çözeltisi	100x100x100

3.2.4.1. Slump (Çökme) Deneyi

Taze beton karışımlarının işlenebilirliğini değerlendirmek amacıyla TS EN 12350-2 standardına uygun olarak slump deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu deneyler için gerekli olan ekipmanlar, slump hunisi, kürek, şişleme çubuğu ve metre içermektedir. Deneye başlamadan önce slump hunisinin iç yüzeyi, nemlendirilmiş bir bez yardımıyla ıslatılmıştır. Ardından nemlendirilen slump hunisinin 3'te 1'i kadarı taze beton ile doldurulmuştur. Doldurulan betonun sıkıştırılması için, şişleme çubuğu düşey düşüşlerle 25 kez serbest bırakılmıştır. Bu işlem, slump hunisi üç kez doldurulup aynı

şekilde sıkıştırılarak tekrarlanmıştır. Betonun düzgün bir şekilde yayılması için huni sabit bir hızla yukarı kaldırılmıştır. Son olarak, yayılan betonun yanına konan huni ters çevrilmiş ve betonun en yüksek noktası ile huninin en yüksek noktası arasındaki mesafe ölçülmüştür (TS EN 12350-2, 2019).

3.2.4.2. Basınç Dayanım Deneyi

Üretilen beton numuneleri, 7 ve 28 günlük kür sürelerini tamamladıktan sonra basınç dayanımlarının belirlenmesi amacıyla 2000 kN kapasiteli beton dayanımı cihazı kullanılmıştır, bu deneyler TS EN 12390-3 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. İncelemeler, 100x100x100 mm boyutlarındaki küp numuneler üzerinde yapılmıştır. Şekil 3.10'da gösterilen basınç dayanımı cihazı kullanılarak basınç dayanımı değeri ölçülmüştür (TS EN 12390-3, 2019).



Şekil 3. 10. Beton Dayanımı Cihazı

3.2.4.3. Yarmada Çekme Dayanım Deneyi

Yarmada çekme dayanımı için hazırlanan 100x100x100 mm ölçülerindeki küp numuneler, 7 ve 28 günlük kür sürelerini tamamladıktan sonra Şekil 3.11'de gösterildiği gibi 2000 kN kapasiteli beton dayanımı cihazı ve yarmada çekme aparatı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deneyler, TS EN 12390-6 standardına uygun olarak uygulanmış ve dayanım değerleri Denklem 3.1 kullanılarak hesaplanmıştır (TS EN 12390-6, 2010).

$$f_d = \frac{2 \cdot F}{\pi \cdot a \cdot a} \quad (3.1)$$

Denklem (3.1)'te belirtilen kavramlar;

f_d : Yarmada çekme dayanımı, (MPa)

F : En büyük yük, (N)

a : Küp kenarlarının uzunluğu, (cm)



Şekil 3. 11. Yarmada çekme dayanım deneyi

3.2.4.4. Su Emme ve Porozite Deneyi

Beton numunelerinin su emme ve porozite yüzdelerini belirlemek amacıyla Arşimet terazisi kullanılmıştır. 100x100x100 mm boyutlarındaki beton numuneleri, 28 gün sonunda kür havuzundan çıkarılmış ve su içindeki bir sepete yerleştirilerek ağırlıkları ölçülmüştür. Daha sonra numuneler suya batırılmış, tamamen suya doyurulmuş ve tekrar ağırlıkları kaydedilmiştir. Numuneler, bu işlemten sonra kuru yüzey haline getirilmek üzere 105°C sıcaklığındaki etüv cihazında 24 saat tutulmuştur. Numuneler, etüvden çıkarıldıktan sonra oda sıcaklığına gelene kadar bekletilmiş ve ardından etüv kurusu ağırlıkları alınmıştır. Bu veriler kullanılarak her bir numunenin porozite ve su emme yüzdeleri hesaplanmıştır. (TS EN 1170-6, 1999). Şekil 3.12’de gösterildiği gibi ağırlıklar hesaplanmıştır.



Şekil 3. 12. Numunenin Arşimet prensibine göre ağırlıklarının alınması

3.2.4.5. Kapiler Su Emme Deneyi

Kılcal su emme deneyi için, ilk olarak etüvde kurutulmuş 100x100x100 mm boyutlarındaki numunelerin yan yüzeyleri parafin ile kaplanmıştır. Bu işlem, numunelerin sadece alt yüzeylerinden su emmesini sağlamak amacıyla gerçekleştirilmiştir. Ardından, hazırlanan numuneler su içerisine yerleştirilmiş ve 1, 4, 9, 16 ve 25 dakika sonunda sudan çıkarılarak tartılmıştır. Bu deneyden elde edilen veriler, kapiler su emme katsayısını hesaplamak için kullanılan Denklem 3.2'ye işlenmiştir. Deneyin uygulama düzeni Şekil 3.13'de detaylı olarak gösterilmiştir. Kılcal su emme deneyi, ASTM C1585-13 standardına uygun bir şekilde gerçekleştirilmiştir (ASTM C1585-13, 2020).

$$K = \frac{Q}{A_1 \times \sqrt{T}} \quad (3.2)$$

Denklem (3.2)'te belirtilen kavramlar;

- K : Kapiler su emme katsayısı, (cm/s^{1/2})
Q : Numunelerin absorbe ettiği su miktarı, (cm³)
A₁ : Suya temas eden yüzey alanı, (cm²)
T : Zaman, (s)

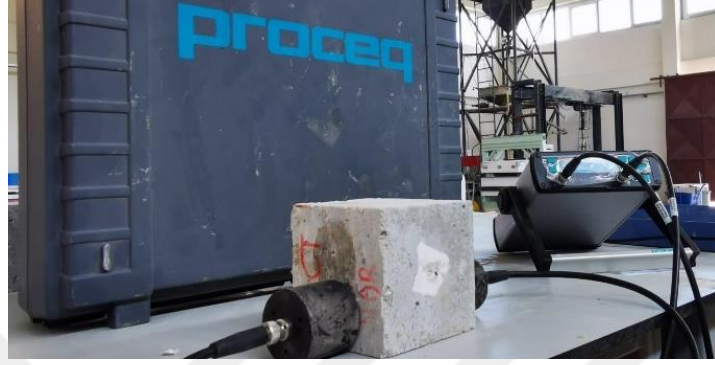


Şekil 3. 13. Kapiler su emme deney düzeni

3.2.4.6. Ultrases Geçiş Hızı Deneyi

Üretilen numunelerin ultrases geçiş hızı ölçümleri, TS EN 12504-4 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Bu deney için 28 günlük numuneler etüv kurusu hale getirildikten sonra ultrases test cihazı (P-dalgası) kullanılmıştır. Numunelerin ölçüm yapılacak yüzeylerine ultrason jeli uygulanarak pürüzsüz bir yüzey elde edilmiş ve hava boşlukları önlenmiştir. Numuneler, cihazdaki iki probun (verici-alıcı) arasında

yerleştirilmiş ve cihaz başlatılmıştır. Cihazın ekranında kaydedilen ses dalgasının geçiş süresi ölçülmüştür. Problar arasındaki mesafe ile kaydedilen ses geçiş süresi kullanılarak, denklem 3.3'te belirtilen hesaplamalar gerçekleştirilerek ultrases geçiş hızları hesaplanmıştır. Bu deneyde kullanılan ultrases cihazı, Şekil 3.14'de gösterilmiştir. (TS EN 12504-4, 2021).



Şekil 3. 14. Ultrases geçiş hızı deneyi

$$V = \frac{x}{t} \quad (3.3)$$

Denklem (3.3)'te belirtilen kavramlar;

V : Ultrases geçiş hızı, (m/s)

X : Ses dalgasının aldığı yol, (m)

t : Ses dalgasının geçiş süresi, (s)

3.2.4.7. Aşınma (Böhme) Deneyi

Üretilen 71 mm'lik beton numunelerinin aşınma direncini belirlemek için Böhme deneyi yapılmıştır (TS EN 14157, 2017). Deney düzeneğine yerleştirilen her bir numunenin döküm yüzeyi hariç olan her bir kenarı için 20 gram zımpara tozu diskin üzerine serpilmiştir ve 22 tur dönerek aşınmaya tabi tutulmuştur. Her 22 tur sonunda deney diski yüzeyi temizlenmiştir. Numune 90° döndürüldü ve diğer kenarı için aynı işlem tekrarlanmıştır, bu şekilde döküm yüzeyi hariç diğer 4 kenarın her biri için 4 kez tekrarlanarak toplamda 16 defa gerçekleştirilmiştir. Deneyin sonunda numunenin aşınma miktarı, Denklem 3.4 kullanılarak hesaplanmıştır. Kullanılan aşınma cihazı Şekil 3.15'de gösterilmiştir.



Şekil 3. 15. Aşınma deneyi düzeneği

$$Dv = \frac{Dm}{\delta R} \quad (3.4)$$

Denklem (3.4)'te belirtilen kavramlar;

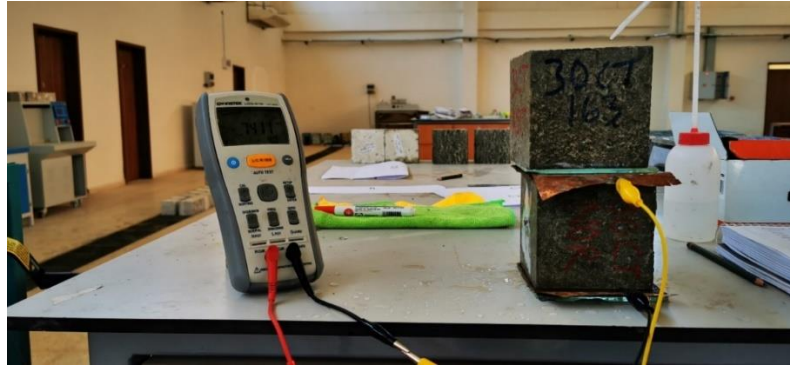
Dv : Toplam hacim kaybı (gr/cm^3)

Dm : 16 periyot sonrası kütle kaybı, (gr)

δR : Birim hacim ağırlık, (cm^3)

3.2.4.8. Elektriksel Özdirenç Deneyi

Beton numuneleri 28 günlük kür süresinin sonunda nem koşullarının etkisinden bağımsız olarak ölçüm yapabilmek için suya doymun hale getirilmiştir. Elektriksel özdirenç ölçümü, ASTM C 1760 standardına uygun olarak iki plaka yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu deney için 100x100x100 mm boyutlarında numuneler üretilmiştir. Elektriksel özdirenç değeri Denklem 3.5 kullanılarak hesaplanmıştır. Elektriksel özdirenç deney düzeneği Şekil 3.16'da gösterilmiştir (ASTM C 1760, 2021).



Şekil 3. 16. Elektriksel özdirenç deney düzeneği

$$\delta = R_1 \times \frac{A_2}{L} \quad (3.5)$$

Denklem (5)'te belirtilen kavramlar;

δ : Elektriksel Özdirenç (kohm.m)

R_1 : Direnç (kohm)

A_2 : Numune yüzey alanı (m²)

L : Plakalar arası mesafe (m)

3.2.4.9. Asit Etkisiyle Ağırlık Kaybı Deneyi

Beton numuneleri 28 günlük kürlenme süresini tamamladıktan sonra, buharlaşmanın engellendiği hava almayacak şekilde kapalı plastik kaplara yerleştirilmiştir. Numuneler, asit çözeltisinin içine koyuldu ve sıkıca kapatılmıştır. Numuneler, asit çözeltisine bırakılmadan önce etüvdeki kuru ağırlıkları, kuru yüzey doygun ağırlıkları ve su içindeki ağırlıkları ölçülmüştür. Çözelti, $25 \pm 2^\circ\text{C}$ sıcaklıkta 4 hafta boyunca pH değerini 0'da tutabilmek için belirli aralıklarla yenilenmiştir. 7 ve 28 gün boyunca asit çözeltisi içinde bekletilen numunelerin yüzeyinde beyaz, lapaya benzer bir madde gözlemlenmiştir. Beton numuneleri asit çözeltisinden çıkarıldıktan sonra fırçalanmadan musluk suyuyla yıkanarak temizlenmiştir. Ağırlık kayıpları hesaplanırken, Arşimet terazisi kullanılmıştır ve numunelerin SA çözeltisi içinde beklemeleri sonucu oluşan ağırlık kayıpları, SA içine bırakılmadan önceki ağırlıkları ile karşılaştırılmıştır. Şekil 3.17'de SA içinde bekletilen numunelerin görüntüsü, Şekil 3.18'de ise SA etkisi altındaki numunelerin değişimleri gösterilmiştir.



Şekil 3. 17. Asit Çözelti içerisinde numunelerin bekletilmesi

NUMUNE ADI	28 GÜNLÜK NORMAL KÜRDE BEKLEME	90 GÜNLÜK NORMAL KÜRDE BEKLEME	28 GÜNLÜK NORMAL KÜRDE BEKLEDİKTEN SONRA 7 GÜN ASİTTE BEKLEME	28 GÜNLÜK NORMAL KÜRDE BEKLEDİKTEN SONRA 28 GÜN ASİTTE BEKLEME
R				
R-CL				
R-BL				
CT10				
CT10-CL				
CT10-BL				
CT20				
CT20-CL				
CT20-BL				
CT30				
CT30-CL				
CT30-BL				

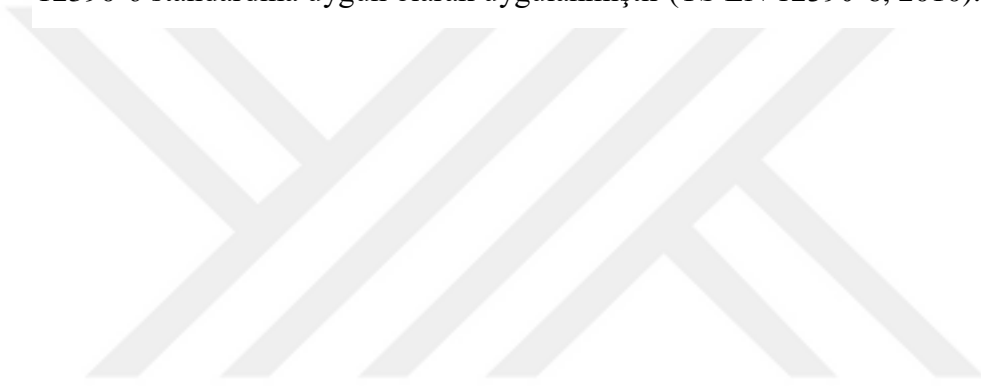
Şekil 3. 18. SA etkisi altında numunelerin değişimleri

3.2.4.10 Asit Etkisiyle Basınç Dayanımı Deneyi

SA çözeltilisi içinde 7 ve 28 gün süreyle bekletilen beton numunelerinin yüzeyleri temizlendikten sonra 105°C'deki etüvde 24 saat tutulmuştur. Numunelere basınç dayanımı deneyi, laboratuvar ortamında soğutulduktan sonra TS EN 12390-3 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir (TS EN 12390-3, 2019).

3.2.4.11 Asit Etkisiyle Yarmada Çekme Dayanımı Deneyi

SA çözeltilisi içinde 7 ve 28 gün süresince bekletilen beton numunelerinin yüzeyindeki tabaka temizlendikten sonra 105°C'deki etüvde 24 saat tutulmuştur. Numunelere yarmada çekme dayanımı deneyi laboratuvar ortamında soğutulduktan sonra TS EN 12390-6 standardına uygun olarak uygulanmıştır (TS EN 12390-6, 2010).



4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE DEĞERLENDİRMELER

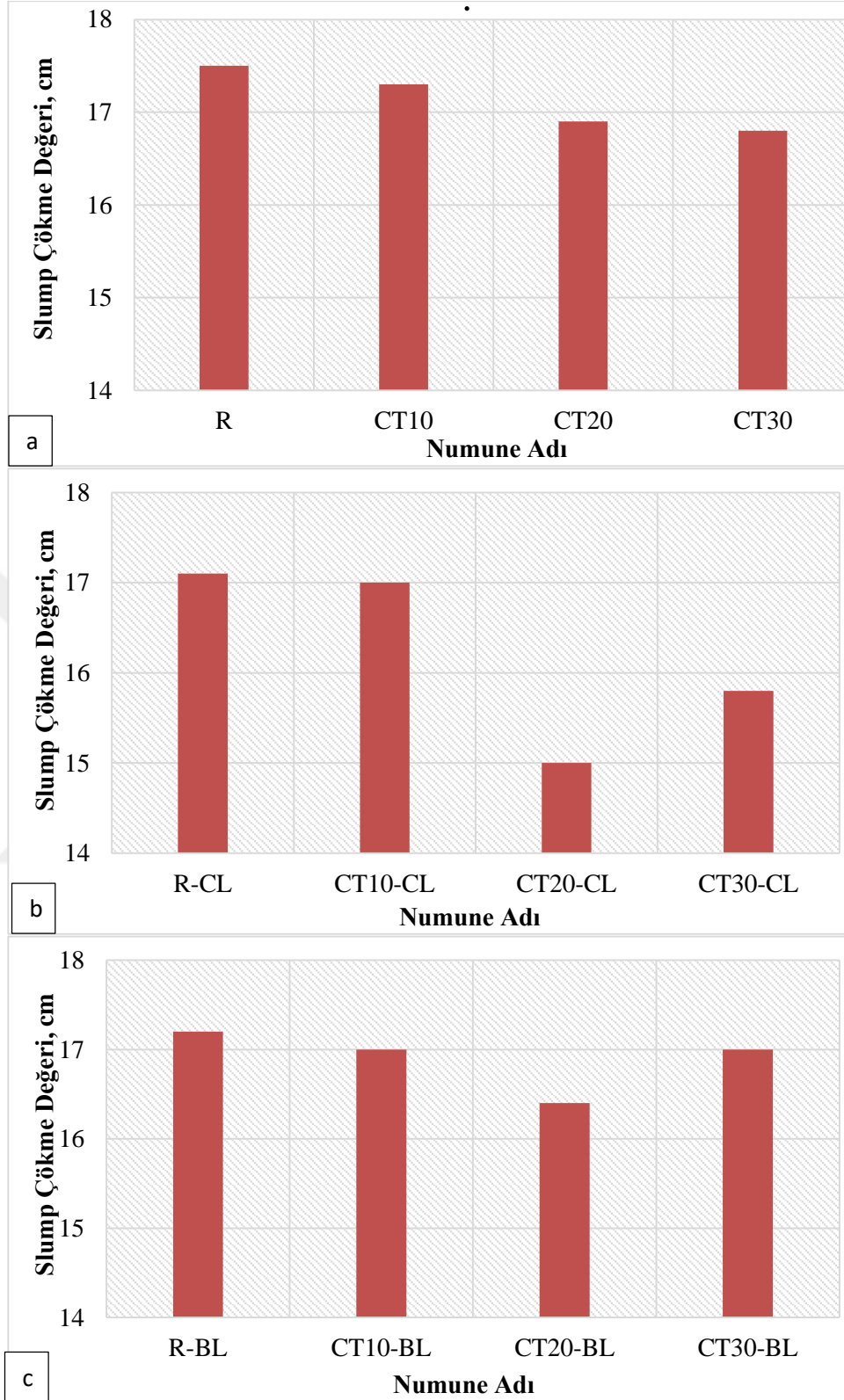
Bu çalışmada, farklı oranlarda çimento ile ikame edilen CT karışımları ile farklı tipte, aynı miktarda ilave edilen liflerin betonun fiziksel ve mekanik özellikler üzerine etkisinin değerlendirilmesi amaçlanmaktadır. Aynı zamanda, beton karışımları SA etkisine maruz bırakılarak mekanik ve fiziksel özelliklerindeki değişim incelenmiştir. Çalışma kapsamında kullanılan numuneler, normal kür koşullarında ve SA çözeltisi içinde bekletilmiştir. Bu şekilde, CT'nin farklı oranlarda kullanılmasıyla normal kür koşullarında ve asit etkisi altında sergilediği performans, ayrı ayrı CL ve BL liflerinin takviye edilerek sergilediği performansla karşılaştırılmış ve iki farklı lif türünün betonun hangi özelliklerini etkilediği araştırılmıştır.

4.1. Slump Deneyi Sonuçları

İşlenebilirlik özelliklerini belirlemek için uygulanan slump deneyine ait sonuçlar Şekil 4.1'de sunulmuştur. Bu sonuçlara göre, karışımların slump değerleri 168 mm ile 175 mm aralığında değişmektedir. En yüksek işlenebilirlik değeri R numunesinde gözlemlenmiştir. CT miktarının artmasıyla birlikte, işlenebilirlik değerlerinde %1.1, %3.4 ve %4 oranlarında azalmalar tespit edilmiştir. Bu azalmanın temel nedeni, CT'nin çimentoya göre daha ince bir malzeme olmasından dolayı suyu yapısında daha çok tutmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Karışıma CL ilave edilmesiyle birlikte işlenebilirlik değerlerinde düşüşe neden olmuştur. CT10-CL numunesi R-CL numunesine göre neredeyse aynı sonuç verirken CT miktarının artmasıyla R-CL numunesine göre %11'e yakın düşüş görülmüştür. Benzer şekilde, karışıma BL ilave edilmesi, işlenebilirlik değerlerinde azalmalara yol açmıştır, ancak bu azalma CL'ye kıyasla daha az olmuştur.

Sonuç olarak, CT ve liflerin birlikte kullanılmasının işlenebilirlik değerlerini olumsuz etkilediği görülmüştür. Benzer şekilde Chen, vd. (2022) de yapmış oldukları çalışmada R numunesinin slump değerini diğer karışımlara kıyasla daha yüksek çıktığını belirtmiştir.



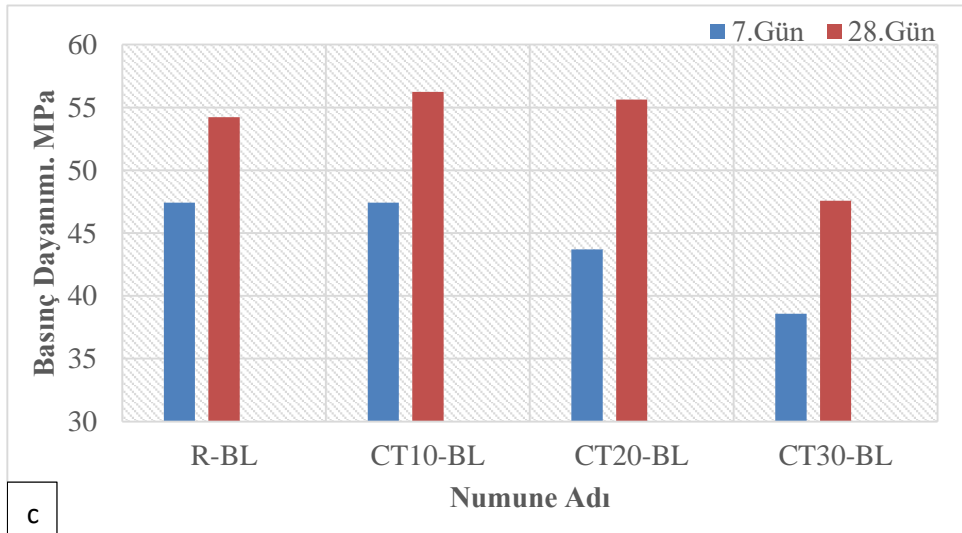
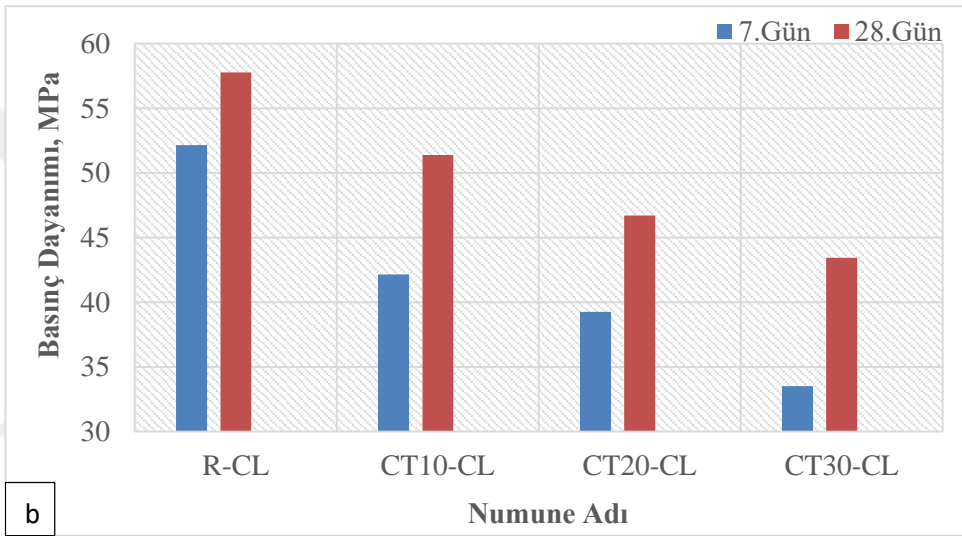
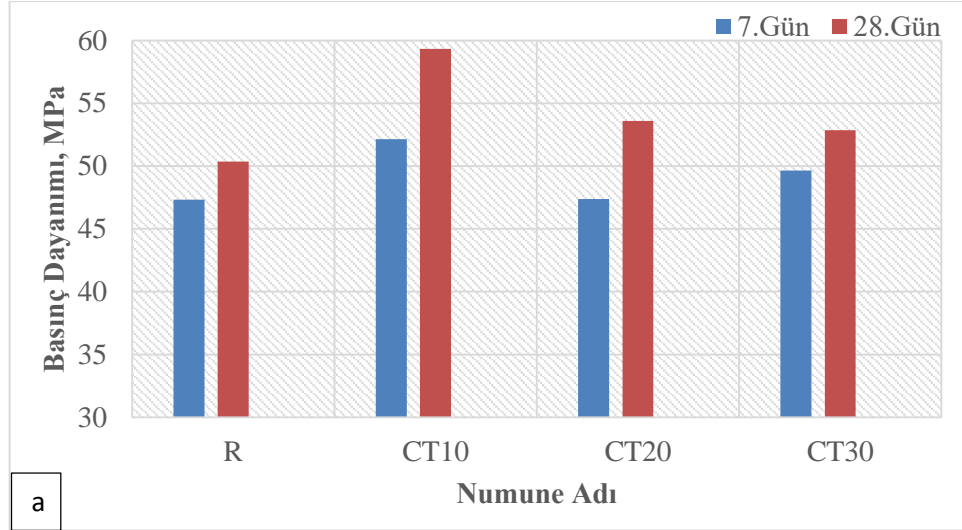
Şekil 4. 1. Beton numunelerin slump değerleri: a. Cam tozu içeren lifsiz karışım, b. Cam tozu içeren cam lifli karışım c. Cam tozu içeren bazalt lifli karışım

4.2. Basınç Dayanım Değerleri

CT ikameli lifli betonların basınç dayanımı ile ilgili sonuçlar Şekil 4.2’de sunulmuştur. Yapılan deneyler sonucunda, 7 günlük süre içinde elde edilen basınç dayanımı değerlerinin 47.31 ile 52.14 MPa arasında değiştiği, 28 günlük süre içinde ise 50.36 ile 59.32 MPa arasında değiştiği gözlenmiştir. Her ne kadar CT miktarı arttıkça basınç dayanımı değerinde azalmalar görülse de bütün CT içeren karışımların basınç dayanımı değeri R numunesinden daha yüksek çıkmıştır. 7 ve 28 günlük kür süresi sonunda en yüksek basınç dayanımı değeri CT10 karışımında olduğu tespit edilmiştir. CT miktarının artışıyla birlikte basınç dayanımı değerlerindeki azalmanın, beton içinde daha fazla boşluklu bir yapı oluşturmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Benzer şekilde Çınar, vd. (2020) çalışmasında da CT miktarının artmasıyla basınç dayanımının azaldığını belirtmiştir.

Karışıma CL ilave edilmesiyle birlikte CT miktarının artması, basınç dayanımı değerlerinde azalmalara neden olmuştur. CL ilave edilmesiyle en yüksek basınç dayanımı değeri R-CL karışımında gözlemlenmiştir. Karışıma BL ilave edilmesiyle, en yüksek basınç dayanımı değerinin CT10-BL karışımında olduğu %20 CT içeren numunede dahi R-BL’ye göre daha yüksek basınç dayanımı değeri elde edilmiştir.

Sonuç olarak basınç dayanımı değeri sonuçlarına bakıldığında CT içeren numunelerde BL’nin CL’ye göre daha iyi sonuç verdiği tespit edilmiştir. Benzer şekilde Paktiawal ve Alam (2022), yapmış oldukları çalışmada BL’nin CL’ye göre basınç dayanımı değerinin daha yüksek çıktığını belirtmiştir.

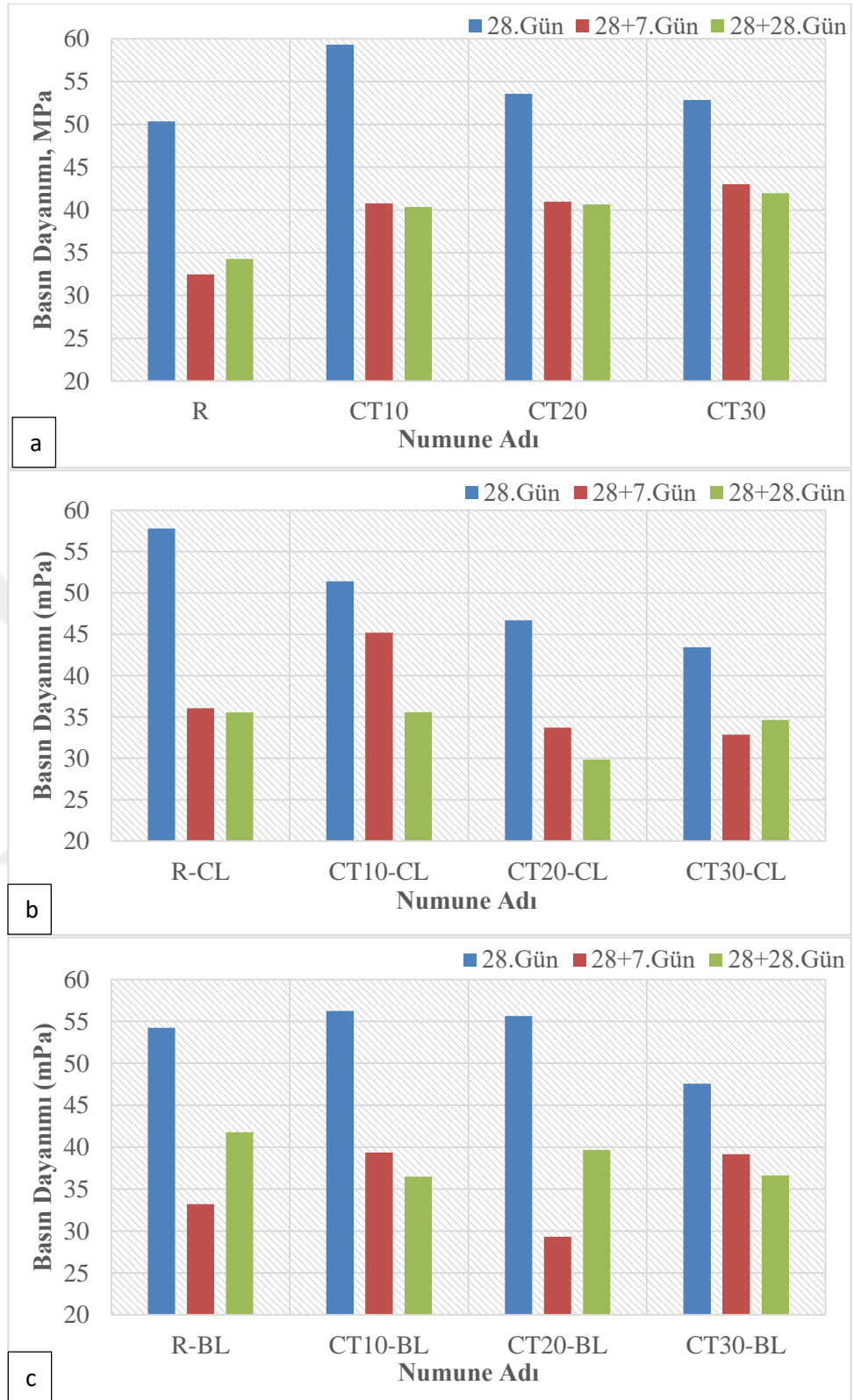


Şekil 4. 2. Basınç Dayanımı Değerleri (Normal Kür Koşulları) : a. Cam tozu içeren lifsiz karışım, b. Cam tozu içeren cam lifli karışım c. Cam tozu içeren bazalt lifli karışım

28 günlük normal kür süresini tamamlamış olan numuneler, SA çözeltisi içerisinde 7 ve 28 gün boyunca bekletilerek basınç dayanımı testine tabi tutulmuştur. Elde edilen basınç dayanımı sonuçları Şekil 4.3'te sunulmuştur. SA çözeltisi içinde bekletilen numuneler üzerinde yapılan basınç dayanımı deneylerinde, 7 günlük bekletme süresinde elde edilen basınç dayanımları 32.50 ile 43.02 MPa arasında değiştiği gözlemlenmiştir. 28 gün bekletme süresinde ise bu değerler 34.27 ile 41.95 MPa arasında değişmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, asit etkisi altında CT içeren numunelerin R numunesine göre sırasıyla %18, %19 ve %22 oranlarında daha yüksek basınç dayanımı değerleri sergilediği tespit edilmiştir.

Karışıma CL ilave edildiğinde, basınç dayanımı değerlerinde azalmalar gözlenmiştir. CT10-CL numunesinin basınç dayanımı değerinin R-CL numunesine göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Asit etkisi altında dayanım kaybı incelendiğinde %38 ile en yüksek dayanım kaybının R-CL numunesinde olduğu hesaplanmıştır. Ayrıca, CT miktarı arttıkça asit içinde yüzdesel olarak daha az dayanım kaybına uğradığı hesaplanmıştır. Karışıma BL ilave edildiğinde, en yüksek basınç dayanımı değeri R-BL karışımında kaydedilmiştir. Asit etkisi altında dayanım kaybı incelendiğinde %35 ile en yüksek dayanım kaybının CT10-BL numunesinde olduğu hesaplanmıştır. CT miktarı arttıkça, benzer şekilde yüzdesel olarak daha az dayanım kaybına uğradığı gözlenmiştir.

Sonuç olarak asit etkisi altında basınç dayanımı değerine bakıldığında, CT ile birlikte lif kullanımında BL'nin CL'e göre daha iyi sonuç verdiği tespit edilmiştir. Bu durumun, BL'lerin CL'lere göre çekme dayanımları ve gerilme mukavemetlerinin yüksek olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.



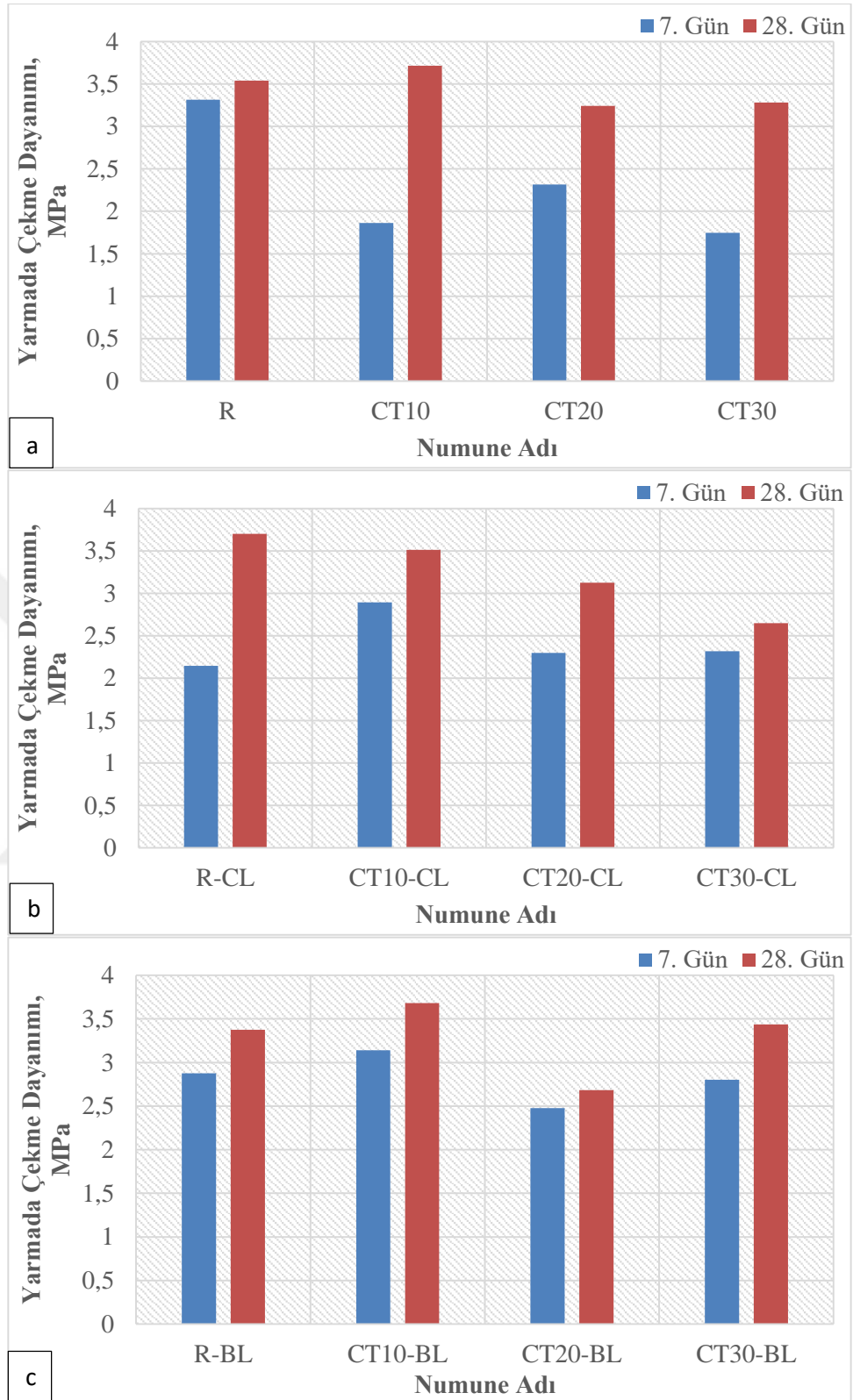
Şekil 4. 3. Basınç Dayanımı Değerleri (Asit Etkisi Altında) : a. Cam tozu içeren lifsiz karışım, b. Cam tozu içeren cam lifli karışım c. Cam tozu içeren bazalt lifli karışım

4.3. Yarmada Çekme Dayanım Değerleri

CT içeren lifli betonların yarmada çekme dayanımı sonuçları Şekil 4.4'de sunulmuştur. Yapılan deneyler sonucunda, 7 günlük yarmada çekme dayanımının 1.76 ile 3.32 mPa arasında değiştiği, 28 günlük yarmada çekme dayanımının ise 3.32 ile 3.72 mPa arasında değiştiği görülmüştür. En yüksek yarmada çekme dayanımı değerinin CT10 karışımında görüldüğü, CT miktarının artmasıyla birlikte, yarmada çekme dayanımının düştüğü gözlemlenmiştir. Bu durum, CT miktarının artmasıyla beton içinde daha fazla boşluklu yapı oluşabileceğinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Karışıma CL ilave edilmesiyle en yüksek değer R-CL numunesinde olduğu CT miktarı arttıkça yarmada çekme dayanımı değerinin düştüğü tespit edilmiştir. Karışıma BL ilave edilmesiyle birlikte en yüksek değer CT10-BL karışımında olduğu görülmüştür.

Sonuç olarak iki lif türü karşılaştırıldığında, BL içeren numunelerin CL içeren numunelere göre daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

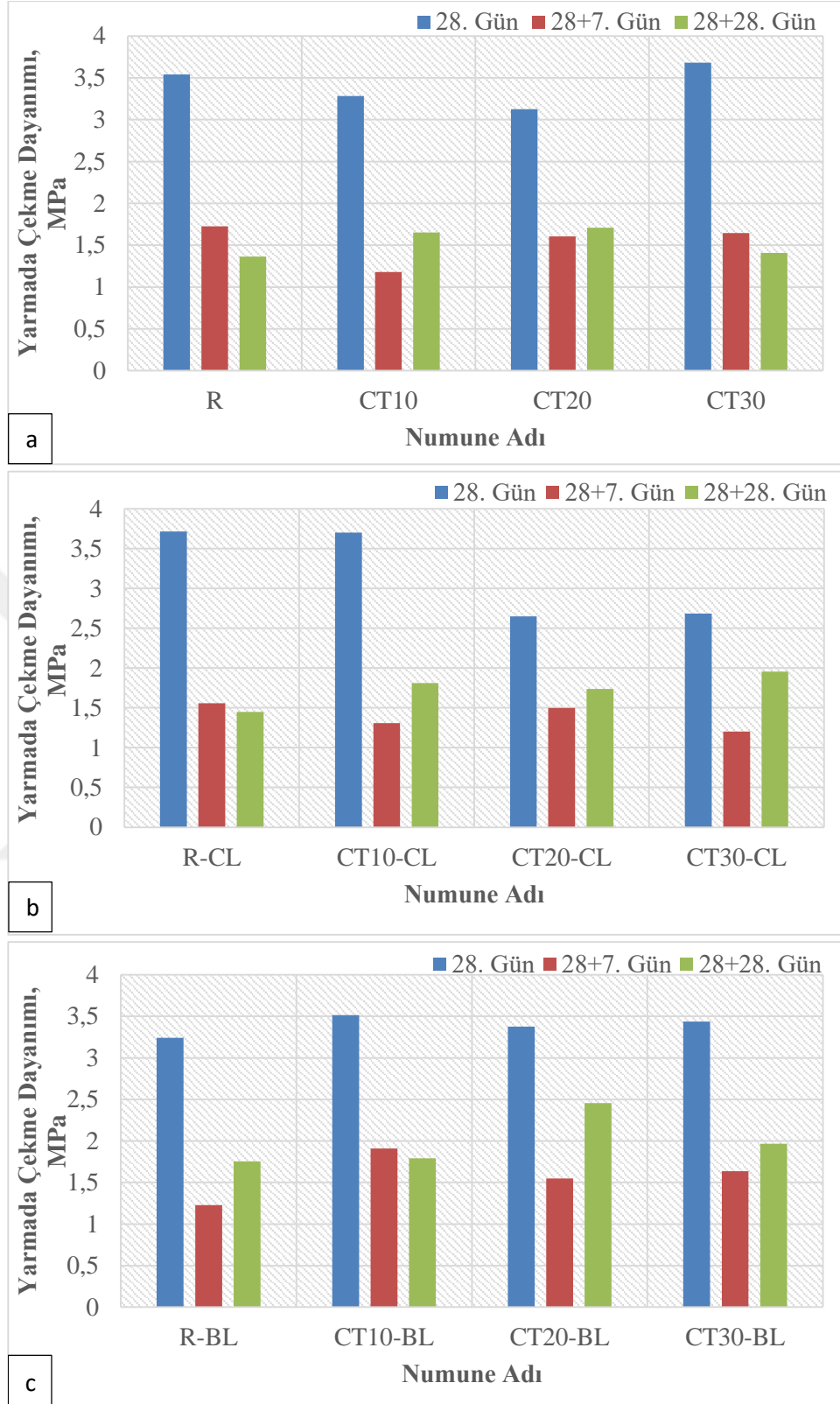


Şekil 4. 4. Yarmada Çekme Dayanımı Değerleri (Normal Kür Koşulları) : a. Cam tozu içeren lifsiz karışım, b. Cam tozu içeren cam lifli karışım c. Cam tozu içeren bazalt lifli karışım

28 günlük normal kürlenme süresini tamamlamış numuneler, SA çözeltisi içinde 7 ve 28 gün boyunca bekletilerek yarmada çekme dayanımı testine tabi tutulmuştur. Elde edilen yarmada çekme dayanımı sonuçları Şekil 4.5'te sunulmuştur. 7 gün boyunca asit içinde bekletilen numunelerin yarmada çekme dayanımı değeri 1.18 ile 1.73 MPa arasında değişirken, 28 gün boyunca bekletilenlerin numunelerin yarmada çekme dayanım değerleri ise 1.36 ile 1.71 MPa arasında değiştiği gözlemlenmiştir. CT içeren numunelerin asit etkisi altında R numunesine göre %21, %25 ve %3 oranında daha yüksek yarmada çekme dayanımına sahip olduğu tespit edilmiştir. Asit etkisi altında meydana gelen yüzdesel dayanım kaybı değerinin en yüksek olduğu karışım %61 ile R numunesinde olduğu gözlemlenmiştir.

Karışıma CL ilavesiyle birlikte, CT içeren karışımlarda yarmada çekme dayanımı değerlerinin R-CL numunesine göre daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. En yüksek yarmada çekme dayanımı değeri CT30-CL numunesinde kaydedilmiştir. Karışıma BL ilavesiyle ise en yüksek yarmada çekme değerinin CT20-BL karışımında tespit edilmiştir.

Sonuç olarak asit etkisi altında yarmada çekme dayanımı deneye bakıldığında, asit içinde meydana gelen dayanım kaybının yüzdesel olarak BL içeren karışımlarda ortalama %41 iken CL içeren karışımlarda %43 olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlar asit etkisi altında BL'nin CL'ye göre daha iyi bir performans sergilediğini ortaya koymaktadır.



Şekil 4. 5. Yarmada Çekme Dayanımı Değerleri (Asit Etkisi Altında) : a. Cam tozu içeren lifsiz karışım, b. Cam tozu içeren cam lifli karışım c. Cam tozu içeren bazalt lifli karışım

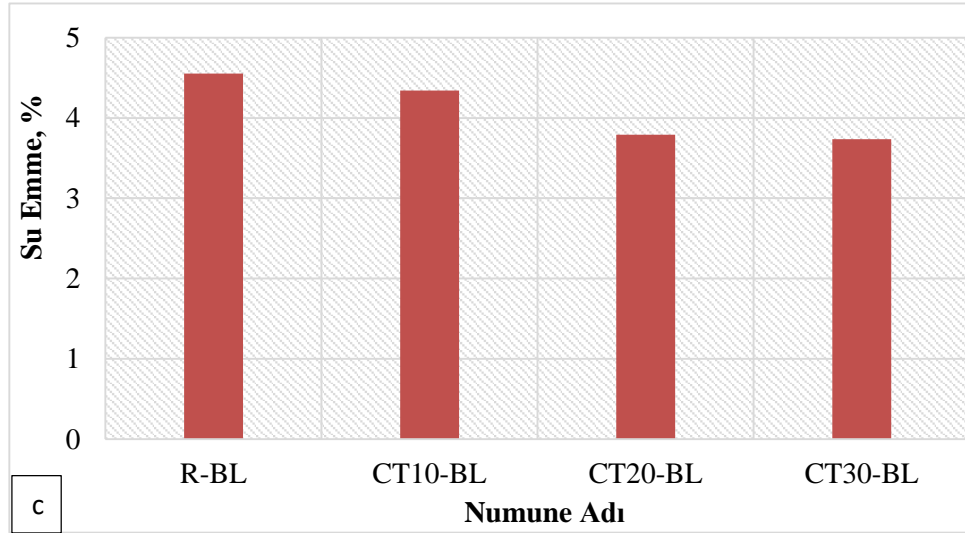
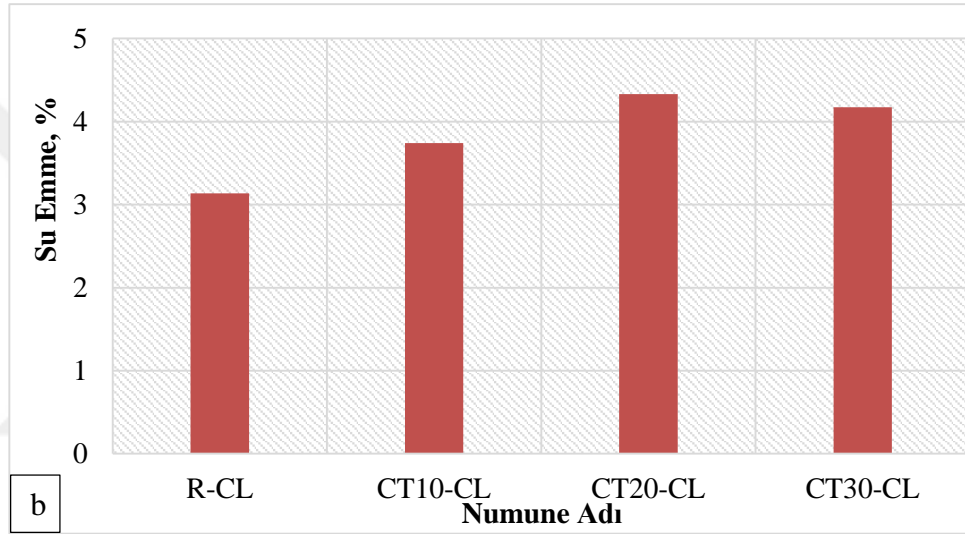
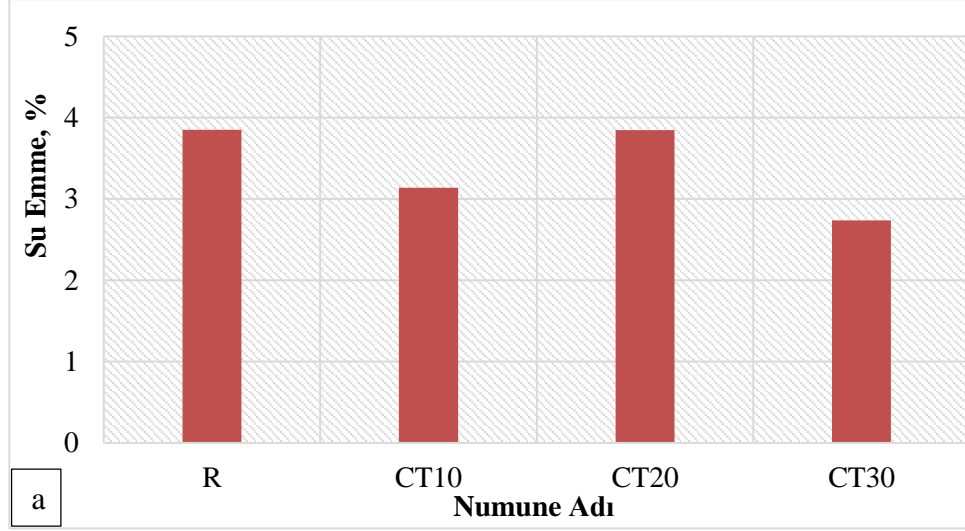
4.4. Su Emme ve Porozite Deney Değerleri

Beton numunelere 28 günlük kürlenme süresinin sonunda uygulanan su emme ve porozite deneyleri sonuçları, Şekil 4.6 ve Şekil 4.7'de sunulmaktadır.

Su emme değeri incelendiğinde %2.74 ile %3.85 arasında değiştiği tespit edilmiştir. En yüksek su emme değeri R numunesinde kaydedilmiştir. CT'nin çimentoya göre daha ince bir malzeme olması nedeniyle, beton yüzeyindeki gözenekleri doldurarak suyun beton içine geçiŐini engellediği düşünülmektedir.

Karışımlara CL ilave edilmesiyle, su emme değerinde bir artışa neden olmuştur. Sebebinin CL ilave edilmesiyle beton yapısında boşluklu bir yapı oluşturmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. En yüksek su emme değerinin CT20-CL karışımında olduğu tespit edilmiştir. Karışımlara BL ilave edilmesiyle benzer Şekilde su emme değerlerinde artış gözlenmiştir. En yüksek su emme değerinin R-BL karışımında olduğu grlmŐtir.

Sonuç olarak lif türlerinin betonun su emme davranıŐını etkilediği, iki lif türü karşılaştırıldığında, CL içeren numunelerin BL içeren numunelere göre iyi sonuç verdiği grlmŐtir.

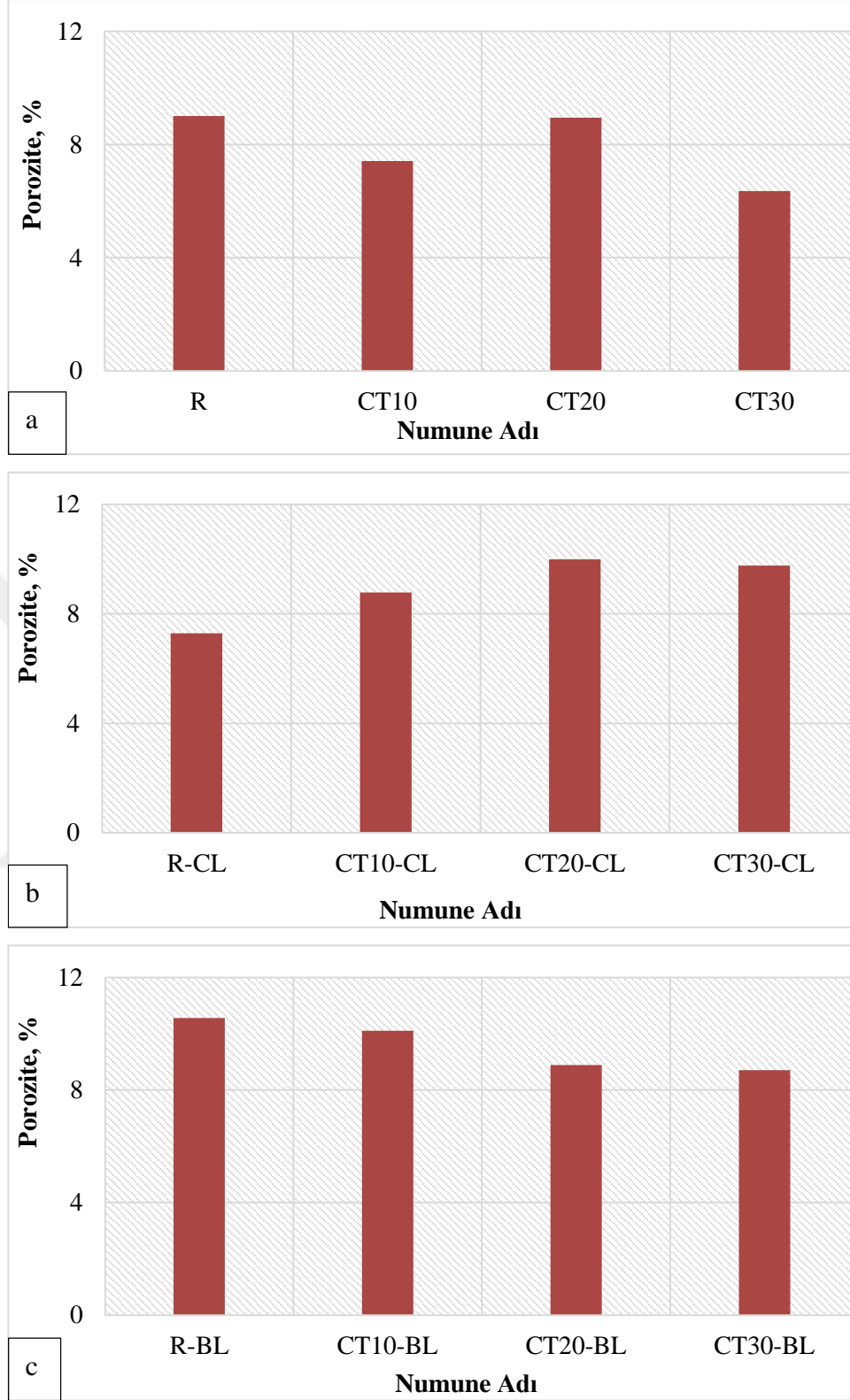


Şekil 4. 6. Su emme deneyi sonuçları : a. Cam tozu içeren lifsiz karışım, b. Cam tozu içeren cam lifli karışım c. Cam tozu içeren bazalt lifli karışım

Porozite değerleri incelendiğinde, %6.35 ile %9 arasında değiştiği tespit edilmiştir. En yüksek porozite değeri R numunesinde kaydedilmiştir. CT'nin çimentoya göre daha ince bir malzeme olması nedeniyle, beton yüzeyindeki gözenekleri doldurarak suyun beton içine geçişini engellediği düşünülmektedir.

Karışma CL ilave edilmesiyle, porozite değerlerinde bir artışa neden olmuştur. Sebebinin CL ilave edilmesiyle beton yapısında boşluklu bir yapı oluşturmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. En yüksek porozite değerinin CT20-CL karışımında olduğu tespit edilmiştir. Karışma BL ilave edilmesiyle benzer şekilde porozite değerinde bir artış gözlemlenmiştir. En yüksek porozite değerinin R-BL karışımında olduğu grlmştir.

Sonuç olarak lif türlerinin betonun porozite davranışını etkilediği, iki lif türü karşılaştırıldığında, CL içeren numunelerin BL içeren numunelere göre iyi sonuç verdiği grlmştir.



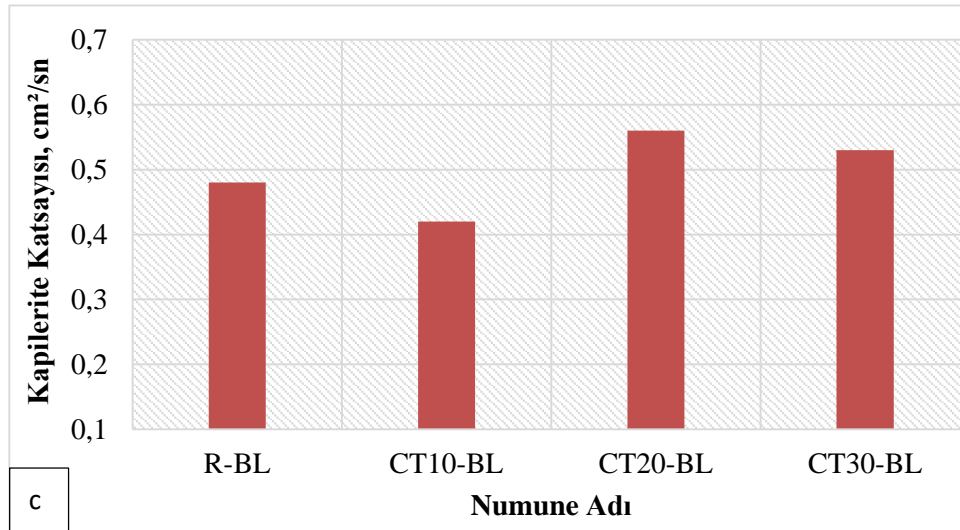
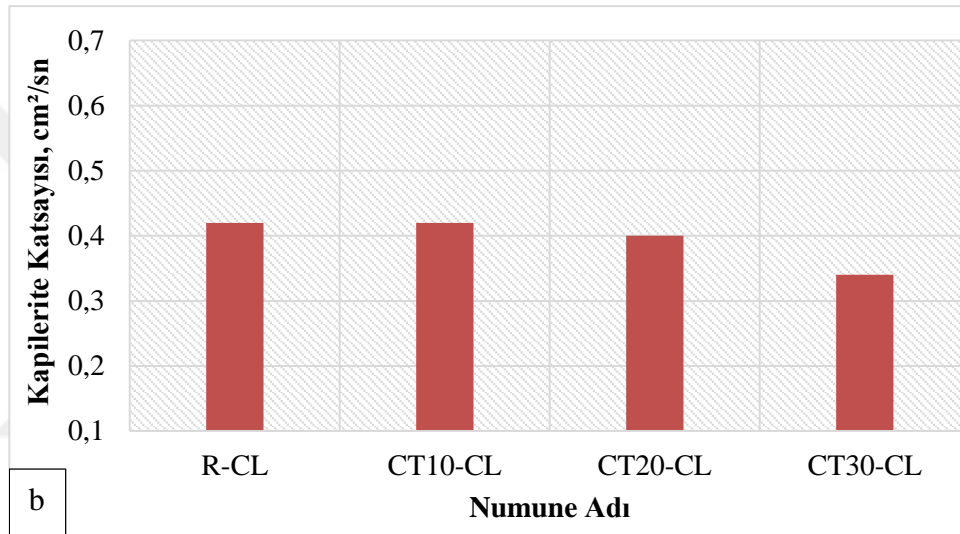
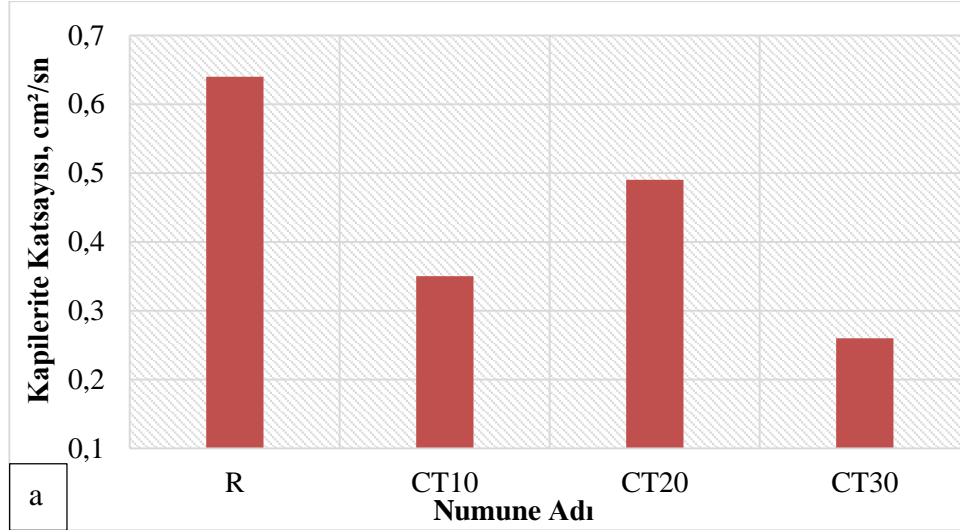
Şekil 4. 7. Porozite deneyi sonuçları : a. Cam tozu içeren lifsiz karışım, b. Cam tozu içeren cam lifli karışım c. Cam tozu içeren bazalt lifli karışım

4.5.Kapiler Su Emme Deney Değerleri

Beton numunelerine 28 günlük kür süresinin sonunda uygulanan kapiler su emme deneyinin sonuçları, Şekil 4.8'da sunulmuştur. Kapiler su emme katsayısının 0.26 ile 0.64 cm²/sn arasında değiştiği gözlenmiştir. CT içeren karışımların, R numunesine göre kapiler su emme değerinin daha düşük olduğu görülmüş ve en yüksek kapiler su emme değerinin R karışımında olduğu tespit edilmiştir. Bu durumun, CT'nin çimentodan daha ince yapılı olmasından kaynaklandığı ve bu nedenle beton gözeneklerini kapatıp engellediği düşünülmektedir. Benzer şekilde Raju, vd., (2021) yapmış olduğu çalışmada da CT kullanılan numunelerin kapiler su emme değerinin R numunesinden daha düşük olduğunu belirtilmiştir.

Karışıma CT ilave edilince ise en yüksek kapiler su emme değerinin CT10-CL numunesinde olduğu tespit edilmiştir. Karışıma BL ilave edilince ise en yüksek değer CT20-BL karışımında olduğu görülmüştür.

Sonuç olarak, CT içeren karışımlara lif eklenince kapiler su emme değerinde artış gözlemlenmiştir. Bu durumun, lifin beton içerisinde boşluklu bir yapı oluşturmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. İki lif türü karşılaştırıldığında ise CL'li karışımların kapiler su emme değerinin BL'li karışımlardan daha düşük olduğu görülmüştür.



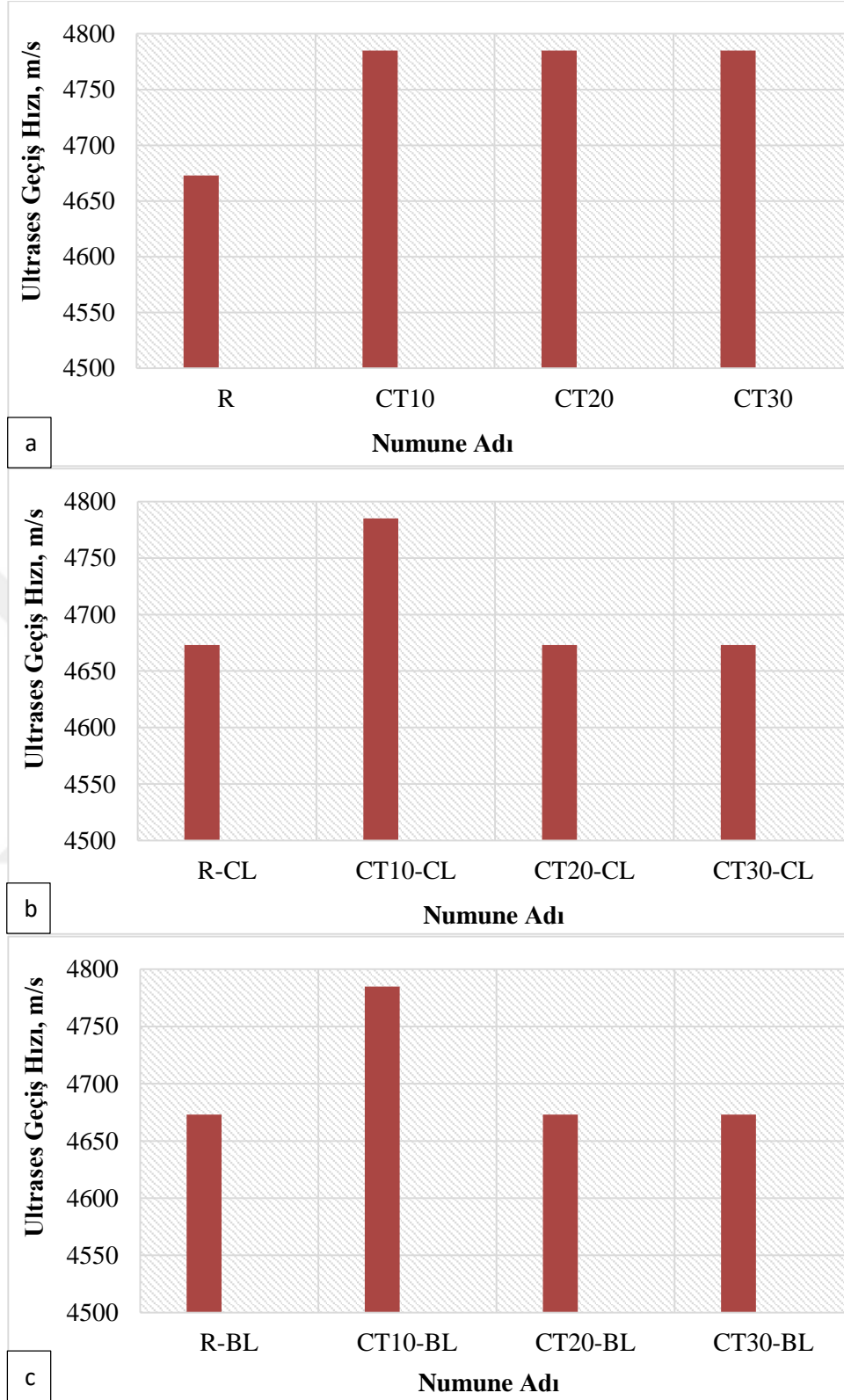
Şekil 4. 8. Kapilerite katsayısı : a. Cam tozu içeren lifsiz karışım, b. Cam tozu içeren cam lifli karışım c. Cam tozu içeren bazalt lifli karışım

4.6. Ultrases Geçiş Hızı Deney Değerleri

Beton numunelerine 28 günlük kür süresinin sonunda uygulanan Ultrases geçiş hızı deneyinin sonuçları Şekil 4.9'da sunulmuştur. R karışımın ultra ses geçiş hızı değeri 4673 m/s olarak belirlenmiştir. CT ilavesiyle, ultra ses geçiş hızı değerinde artış gözlemlenmiştir. CT içeren karışımların ultra ses geçiş hızı değeri R karışımından %2 daha fazla 4785 m/s olarak tespit edilmiştir. CT ilavesinin betonun içyapısını etkileyerek ultra ses geçiş hızı değerini arttırdığını göstermektedir.

Karışımlara CL ilave edilmesiyle, CT10-CL karışımının ultra ses geçiş hızı değerinin diğer CL ilaveli karışımlardan %2.5 daha yüksek olduğu grlmştir. Karışıma BL ilave edildiğinde de CL ile benzer sonuçlar elde edilmiş ve ultra ses geçiş hızı değerlerinin en yüksek olduğu karışımın CT10-BL karışımı olduğu tespit edilmiştir.

Sonuç olarak, beton karışımının içyapısının ultra ses geçiş hızı değerini etkilediğini ve lif ilavesinin bu hızı dşrdğu grlmştir. Whitehurst ultra ses geçiş hızı ile ilgili araştırmalar yapmış ve ultra ses geçiş hızını belirli özelliklere göre sınıflandırılmıştır. Whitehurst'a göre; geçiş süresi 2000 m/s'den düşük olanlar çok zayıf, 2000-3000 m/s aralığında olanlar zayıf, 3000-3500 m/s aralığında olanlar şüpheli, 3500- 4500 m/s aralığında olanlar iyi ve 4500 m/s'nin üzerinde olanlar ise mkemmell olarak nitelendirilmiştir (Whitehurst, 1951; Erdoğan, T. Y., 2003).



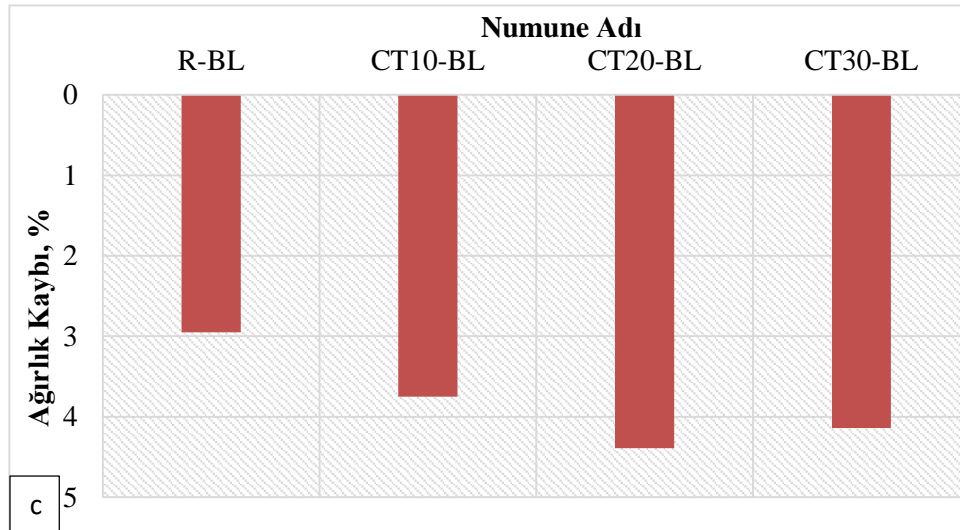
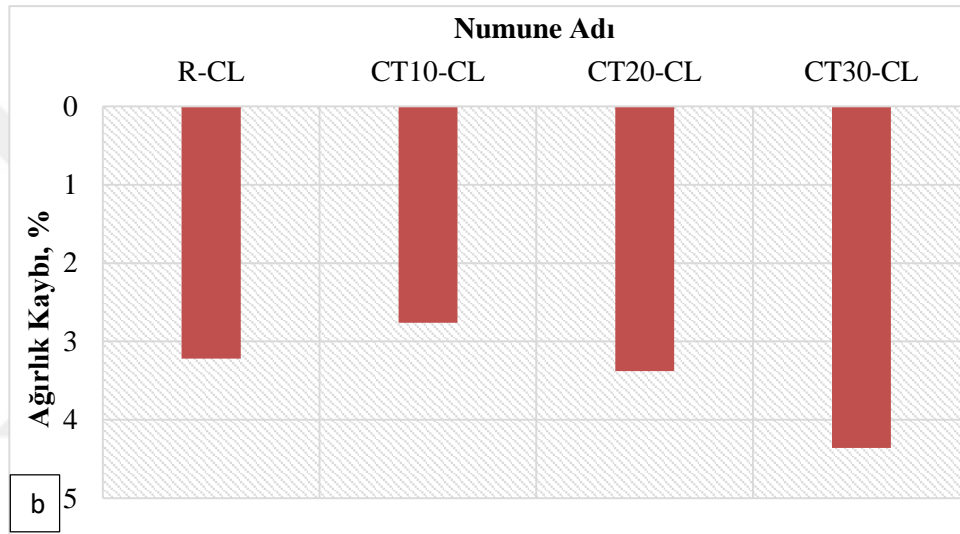
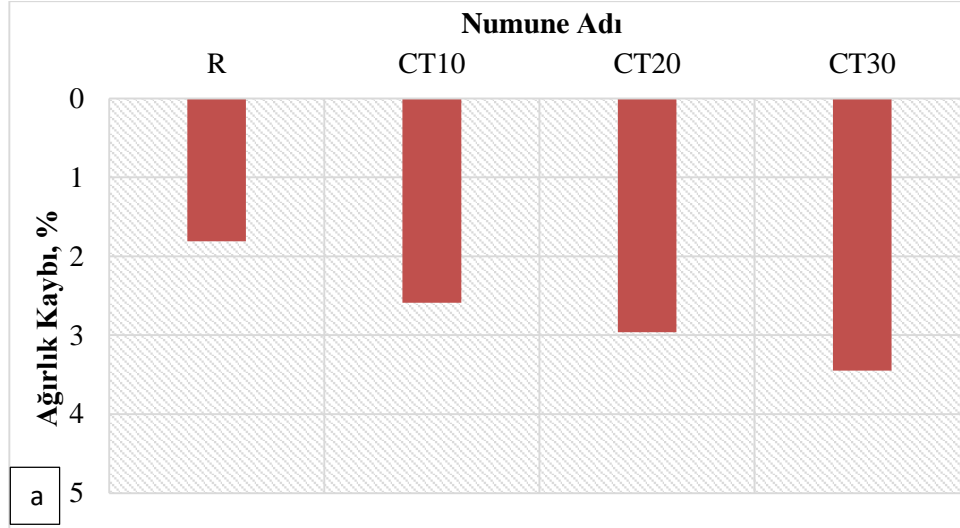
Şekil 4. 9. Ultrases geçiş hızı deneyi sonuçları : a. Cam tozu içeren lifsiz karışım, b. Cam tozu içeren cam lifli karışım c. Cam tozu içeren bazalt lifli karışım

4.7. Aşınma (Böhme) Deney Değerleri

Beton numunelerine 28 günlük kür süresinin sonunda uygulanan ağırlık kaybı deneyinin sonuçları Şekil 4.10'da sunulmuştur. Elde edilen sonuçlara göre en düşük ağırlık kaybının R numunesinde olduğu gözlemlenmiştir. CT miktarı arttıkça ağırlık kaybının arttığı tespit edilmiştir.

Karışıma CL ilave edilmesiyle birlikte, yüzdesel ağırlık kaybı değerlerinde artış gözlemlenmiştir. Bu artışın, beton içerisinde daha fazla boşluklu yapı oluşmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. CL içeren numunelerde yüzdesel ağırlık kaybının en az CT10-CL karışımında olduğu görülmüştür. Karışıma BL ilave edilmesiyle de, CL'de olduğu gibi yüzdesel ağırlık kaybı değerlerinde artışlar gözlenmiştir. BL içeren numunelerde en az ağırlık kaybının R-BL karışımında olduğu tespit edilmiştir.

Sonuç olarak, her iki lif türünde de lifsiz numunelere göre daha yüksek ağırlık kaybı yaşandığı ve bunun nedeninin lif kullanılmasıyla birlikte beton içerisinde boşluklu yapı oluşmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Benzer şekilde Gupta, vd. (2022) yapmış oldukları çalışmada lif kullanılmasıyla ağırlık kaybının arttığını belirtmişlerdir.



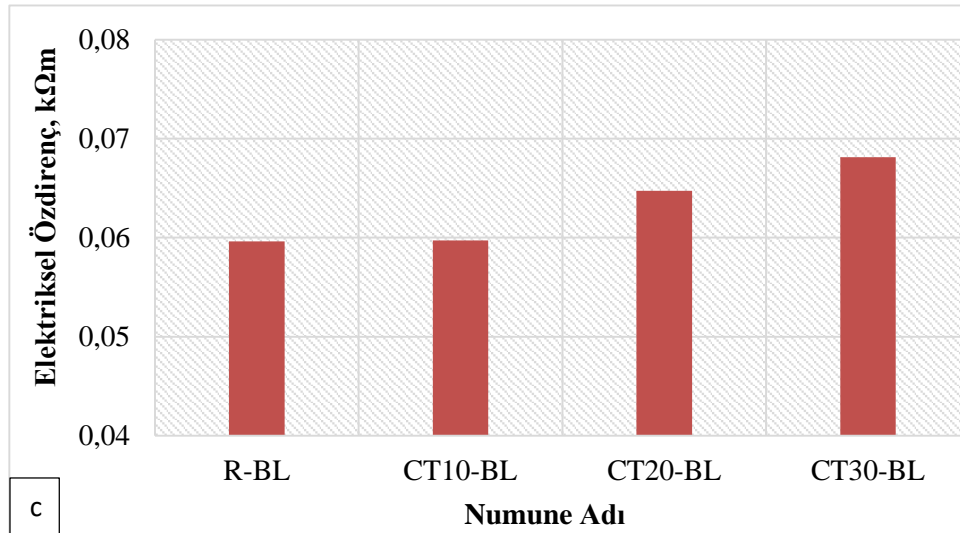
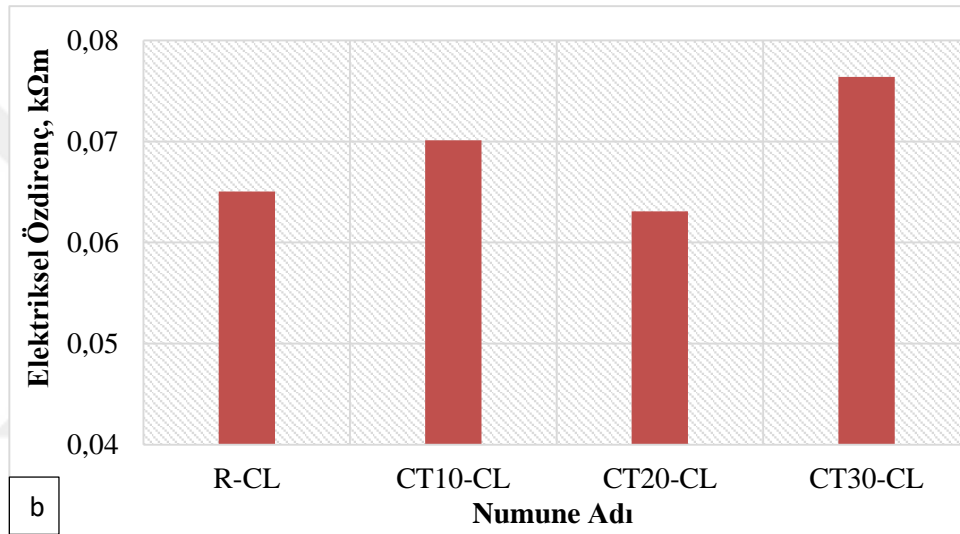
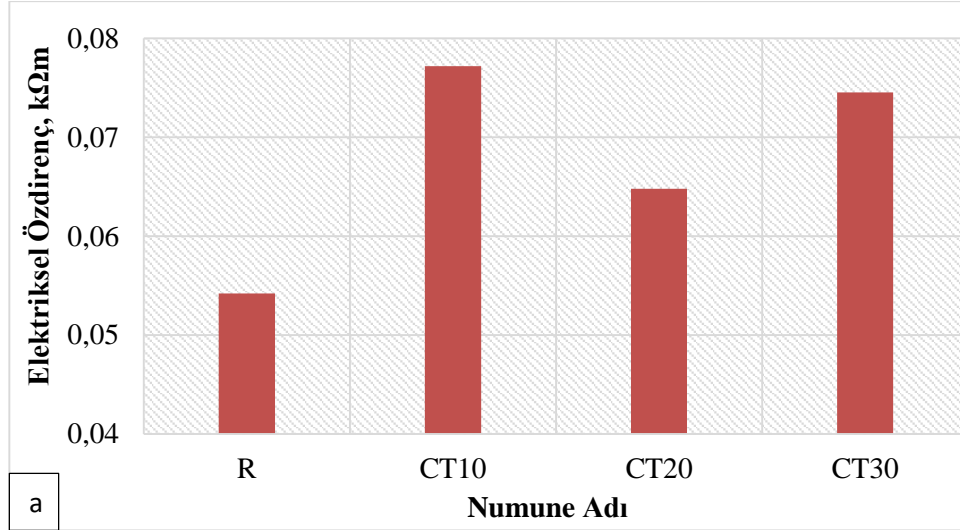
Şekil 4. 10. Ağırlık kaybı (%) : a. Cam tozu içeren lifsiz karışım, b. Cam tozu içeren cam lifli karışım c. Cam tozu içeren bazalt lifli karışım

4.8. Elektriksel Özdirenç Deney Değerleri

28 günlük kürlenme süresinin sonunda 1 kHz frekansta ölçülen elektriksel özdirenç değerleri Şekil 4.11'de sunulmuştur. CT içeren karışımların R numunesine göre yüksek elektriksel özdirenç değerine sahip olduğu gözlemlenmiştir. En yüksek değer CT10 karışımında olduğu bu değer ise R numunesine göre %42 daha fazla olduğu görülmüştür. Benzer şekilde Wang, vd. (2016) tarafından yapılan çalışmada da CT içeren numunelerin diğer karışımlara göre elektriksel özdirenç değerinin daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Sebebinin CT'nin yapısında bulunan yüksek miktarda SiO₂'nin varlığından kaynaklandığını düşünmüşlerdir. Yoo, vd., (2022) yapmış oldukları çalışmada da CT kullanılan karışımların elektriksel özdirenç değerinin kontrol numunesinden daha iyi sonuç verdiğini belirtmiştir.

Karışıma CL ilave edilmesiyle, CT içeren numunelerde azalma yaşanmıştır. Bununla birlikte, CT içeren numunelerin R-CL numunesine kıyasla daha yüksek bir elektriksel özdirenç değerine sahip olduğu gözlenmiştir. En yüksek elektriksel özdirenç değeri CT30-CL karışımında kaydedilmiştir. Benzer şekilde, karışımlara BL ilave edilmesiyle, CT içeren karışımların R-BL karışımına göre daha iyi sonuçlar verdiği ve en yüksek sonucun CT30-BL karışımında elde edilmiştir.

Sonuç olarak, lif kullanılması karışımlarda elektriksel özdirenç değerlerini azaltmıştır. Bu azalmanın, beton içinde boşluklu bir yapı oluşmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. İki lif türü karşılaştırıldığında, CL, BL'ye göre daha iyi bir elektriksel özdirenç sağlamıştır. CT kullanımının beton numunelerinin elektriksel özdirenç değerini arttırdığı ve lif türlerinin betonun elektriksel özdirenç değerinde farklı sonuçlar verebileceği görülmüştür.



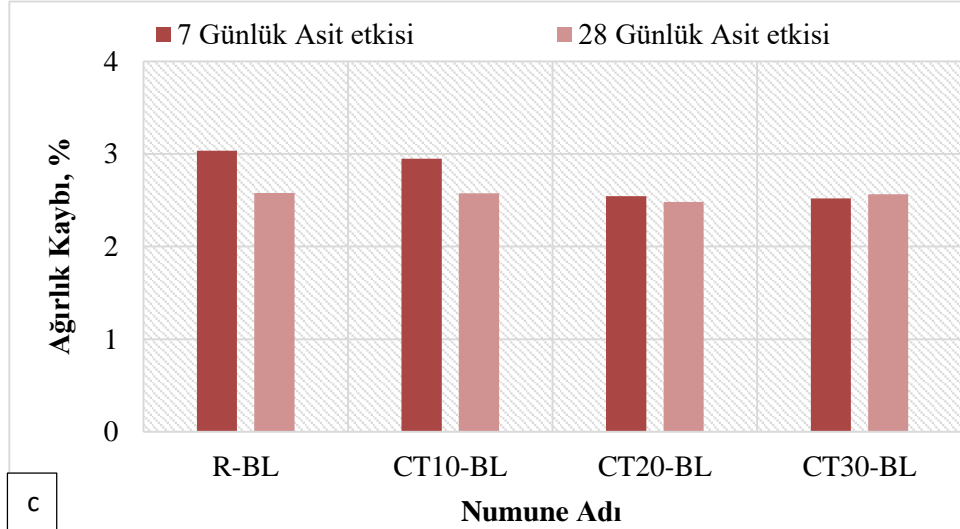
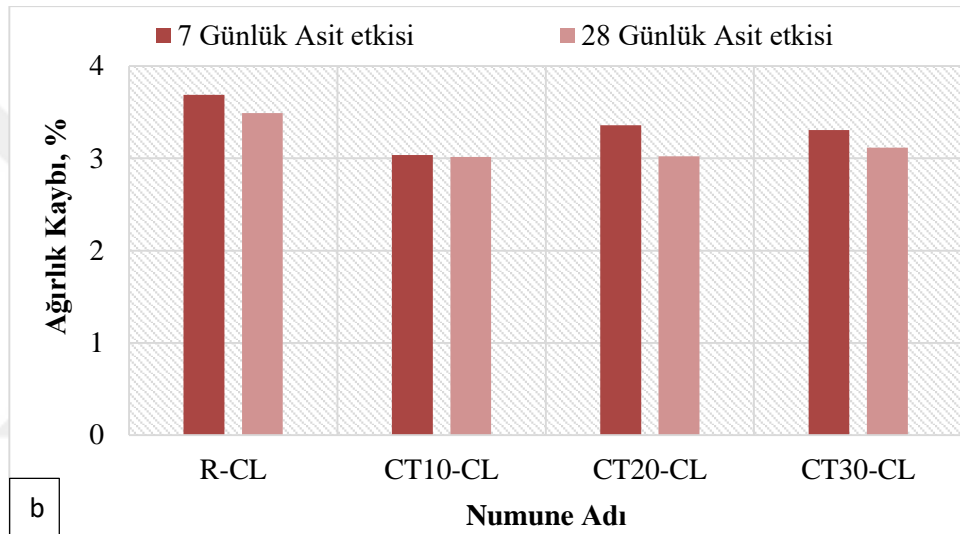
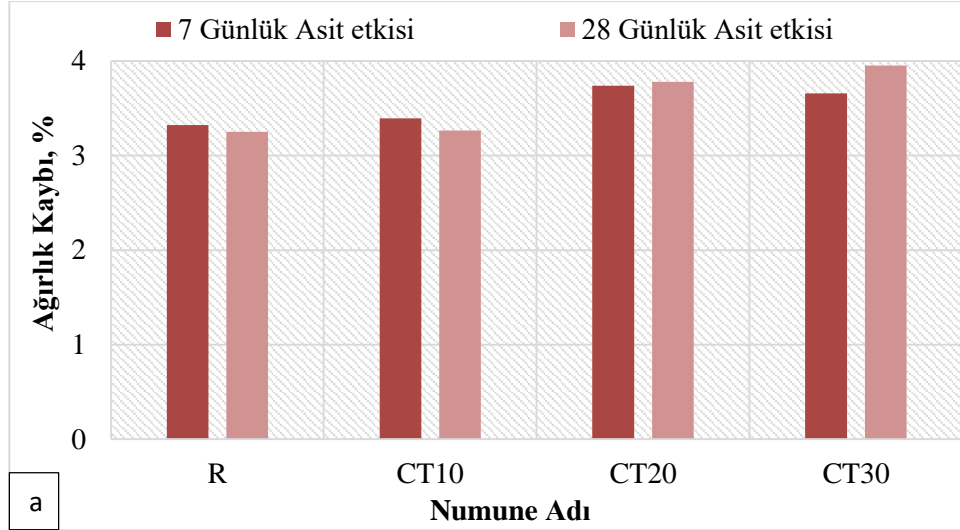
Şekil 4. 11. Elektriksel Özdirenç Değerleri : a. Cam tozu içeren lifsiz karışım, b. Cam tozu içeren cam lifli karışım c. Cam tozu içeren bazalt lifli karışım

4.9. Asit Etkisiyle Ağırlık Kaybı Deneyi

28 günlük normal kür süresi sonunda SA çözeltisi içerisinde 7 ve 28 gün bekletilen numunelerin etrafında lapaya benzer beyaz renkte bir madde biriktiği gözlemlenmiştir. Bu beyaz renkli maddenin asit etkisi altında ağırlık kaybını yansıttığı düşünülmektedir. Beton yüzeyi temizlendikten sonra ağırlık kaybı deneyine tabi tutulmuştur. Asit etkisi altında yüzdesel ağırlık kaybı değerinin sonuçları Şekil 4.12'de sunulmaktadır. Elde edilen sonuçlara göre, asit etkisi altında yüzdesel ağırlık kaybının en düşük olduğu numune %3.26 ile R ve CT10 karışımlarıdır. CT miktarının artmasıyla yüzdesel ağırlık kaybının arttığı gözlemlenmiştir.

Karışıma CL ilave edilmesiyle yüzdesel ağırlık kaybının en az olduğu numune %3 ile CT10-CL karışımında olduğu, karışıma BL ilave edilmesiyle ise yüzdesel ağırlık kaybının en düşük olduğu numune CT20-BL karışımında olduğu tespit edilmiştir.

Sonuç olarak CT ikamesi arttıkça hidrasyon sürecinin geciktiği ve tamamlanmamış hidrasyon ürünlerinin asit etkisi altında daha kolay parçalandığı tespit edilmiştir. Benzer şekilde Wang (2011) tarafından yapılan bir çalışmada da CT10 ve R numunelerinin en düşük ağırlık kaybına sahip olduğunu belirtmiştir. CL ve BL karşılaştırdığında BL'nin asit etkisi altında daha az ağırlık kaybına neden olduğu görülmüştür.



Şekil 4. 12. Asit Etkisi Altında Yüzesel Ağırlık Kaybı Değerleri : a. Cam tozu içeren lifsiz karışım, b. Cam tozu içeren cam lifli karışım c. Cam tozu içeren bazalt lifli karışım

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Bu çalışma, CT'nin geri dönüştürülerek beton üretiminde kullanılabilirliğini değerlendirmiştir. Farklı oranlarda CT'nin mineral katkı olarak kullanılmasıyla elde edilen beton karışımının, aynı miktarda farklı türden liflerle kullanılmasıyla mekanik ve fiziksel özellikleri asit etkisi altında ve normal kür koşullarında incelenmiştir. Çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

Slump değerleri, 168 mm ile 175 mm arasında değişmektedir ve en yüksek işlenebilirlik değeri R numunesinde gözlemlenmektedir. CT miktarı arttıkça R numunesine göre sırasıyla %1.1, %3.4 ve %4 oranlarında azalmalar gözlemlenmiştir. İki farklı lif türü karşılaştırıldığında, %20 CT miktarına kadar benzer sonuçlar elde edilirken, %20'den daha fazla CT içeren betonlarda CL'nin BL'ye göre işlenebilirlik değerini azaltıcı etkisinin olduğu tespit edilmiştir.

Basınç dayanımı değerleri, 7 günlük dayanımları 47.31 ile 52.14 MPa arasında, 28 günlük dayanımlarının ise 50.36 ile 59.32 MPa arasında değiştiği 7 ve 28 günlük basınç dayanımında en yüksek değer CT10 karışımında gözlemlenmiştir. Karışımlara CL ilave edildiğinde en yüksek basınç dayanımı değeri R-CL numunesinde iken, BL ilave edildiğinde ise en yüksek basınç dayanımı değeri CT10-BL karışımında elde edilmiştir. İki lif türü karşılaştırıldığında, BL içeren karışımların CL içeren karışımlara göre daha yüksek basınç dayanımı değerlerine sahip olduğu tespit edilmiştir.

Basınç dayanımı değerleri, 7 günlük asit etkisi altında bekletildikten sonra 32.50 ile 43.02 MPa aralığında, 28 günlük asit etkisi altında bekletildikten sonra ise 234.27 ile 41.95 MPa aralığında değişmektedir. Asit etkisi altında en yüksek basınç dayanımı değeri CT30 karışımında gözlemlenmiştir. Karışımlara CL ilave edildiğinde asit etkisi altında en yüksek basınç dayanımı değeri CT10-CL numunesinde iken, BL ilave edildiğinde ise asit etkisi altında en yüksek basınç dayanımı değeri R-BL karışımında elde edilmiştir. İki lif türü karşılaştırıldığında, BL içeren karışımların CL içeren karışımlara göre basınç dayanımı değerlerinin daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Yarmada çekme dayanımı değerleri, 7 günlük kürlenme süresi sonunda 1.76 ile 3.32 mPa aralığında, 28 günlük kürlenme süresi sonunda ise 3.32 ile 3.72 mPa aralığında değişmektedir. 28 günlük kürlenme süresi sonunda en yüksek yarmada çekme dayanımı değeri CT10 karışımında gözlemlenmiştir. Karışımlara CL ilave edildiğinde en yüksek yarmada çekme dayanımı değeri R-CL numunesinde iken, BL ilave edildiğinde ise en yüksek yarmada çekme dayanımı değeri CT10-BL karışımında elde edilmiştir. İki lif türü karşılaştırıldığında, BL içeren karışımların CL içeren karışımlara göre yarmada çekme dayanımı değerlerinin daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Yarmada çekme dayanımı değerleri, 7 günlük asit etkisi altında bekletildikten sonra 1.18 ile 1.73 MPa aralığında, 28 gün boyunca asit etkisi altında bekletildikten sonra ise 1.36 ile 1.71 MPa aralığında değişmektedir. Asit etkisi altında en yüksek yarmada çekme dayanımı değeri CT20 karışımında gözlemlenmiştir. Karışımlara CL ilave edildiğinde asit etkisi altında en yüksek yarmada çekme dayanımı değeri CT30-CL numunesinde iken, BL ilave edildiğinde ise asit etkisi altında en yüksek yarmada çekme dayanımı değeri CT20-BL karışımında elde edilmiştir. İki lif türü karşılaştırıldığında, BL içeren karışımların CL içeren karışımlara göre asit etkisi altında yarmada çekme dayanımı değerlerinin daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Su emme yüzdesi değerleri, %2.74 ile %3.85 aralığında değişmektedir. En yüksek su emme yüzdesi değeri R numunesinde gözlemlenmektedir. Karışıma CL ilave edildiğinde en yüksek su emme yüzdesi değeri CT20-CL karışımında iken, BL ilave edildiğinde en yüksek su emme yüzdesi değeri R-BL karışımında elde edilmiştir.

Porozite yüzdesi değerleri %6.35 ile %9.01 aralığında değişmektedir. En yüksek porozite yüzdesi değeri R numunesinde gözlemlenmektedir. Karışıma CL ilave edildiğinde en yüksek porozite yüzdesi değeri CT20-CL karışımında iken, BL ilave edildiğinde ise en yüksek porozite yüzdesi değeri R-BL karışımında elde edilmiştir.

Kapiler su emme değeri 0.26 ile 0.64 cm²/s aralığında değişmektedir. En yüksek kapiler su emme değeri R numunesinde gözlemlenmiştir. Karışıma CL ilave edildiğinde en yüksek kapiler su emme değeri CT10-CL karışımında iken, BL ilave edildiğinde ise en yüksek kapiler su emme değeri CT20-BL karışımında elde edilmiştir.

Ultras ses geçiş hızı değerleri 4673 ile 4785 m/sn aralığında değişmektedir ve en dūřuk ultras ses geçiş hızı R numunesinde tespit edilmiştir. CT kullanılması, ultras ses geçiş hızı değerini artırmıştır. Karışıma CL ilave edildiğinde en yūks ek ultras ses geçiş hızı değeri CT10-CL karışımında iken, BL ilave edildiğinde de benzer şekilde en yūks ek değer CT10-BL karışımında elde edilmiştir.

Ařınma deęerleri incelendięinde aęırlık kaybı yūzdesi deęerinin %1.81 ile %3.45 aralıęında deęiřmektedir ve en dūřuk aęırlık kaybı R numunesinde gōzlemlenmektedir. CT miktarı arttıķa, yūzdesel aęırlık kaybı deęerinin arttıęı gōrūlmūřtur. Karıřıma CL ilave edildięinde en yūks ek yūzdesel aęırlık kaybı deęeri CT30-CL karıřımında iken, BL ilave edildięinde ise en yūks ek yūzdesel aęırlık kaybı deęeri CT20-BL karıřımında elde edilmiřtir. İki lif tūrū karřılařtırıldıęında, CL içeren karıřımların BL içeren karıřımlara gōre yūzdesel aęırlık kaybı deęerinin daha dūřuk olduęu tespit edilmiřtir.

Elektriksel ōzdiren deęerleri 0.0542 ile 0.0772 kΩm aralıęında deęiřmektedir ve en yūks ek elektriksel ōzdiren deęeri CT10 numunesinde gōzlemlenmektedir. Karıřıma CL ilave edildięinde en yūks ek elektriksel ōzdiren deęeri CT30-CL karıřımında iken, BL ilave edildięinde ise en yūks ek elektriksel ōzdiren deęeri CT30-BL karıřımında elde edilmiřtir. İki lif tūrū karřılařtırıldıęında, CL içeren karıřımların BL içeren karıřımlara gōre elektriksel ōzdiren deęerlerinin daha yūks ek olduęu tespit edilmiřtir.

Asit etkisi altında yūzdesel aęırlık kaybı deęerleri, 7 gūn asit içerisinde bekletilmesinde %3.32 ile %3.72 aralıęında, 28 gūn asit içerisinde bekletilmesinde ise %3.25 ile %3.95 aralıęında deęiřmektedir. Asit etkisi altında en dūřuk yūzdesel aęırlık kaybı CT10 ve R numunelerinde gōzlemlenmiřtir. CT miktarının artmasıyla yūzdesel aęırlık kaybı deęeri artmıřtır. Karıřıma CL ilave edildięinde en dūřuk yūzdesel aęırlık kaybı CT10-CL karıřımında gōrūlűrken, BL ilave edildięinde ise CT20-BL karıřımında elde edilmiřtir. İki farklı lif tūrū karřılařtırıldıęında, asit etkisi altında en dūřuk yūzdesel aęırlık kaybı deęerinin BL içeren karıřımlarda olduęu tespit edilmiřtir.

5.2. Öneriler

Bu alışma, cam tozu kullanımının beton karışımlarının műhendislik ōzellikleri űzerindeki etkisini incelemiş ve ōnemli sonuçlara ulaşmıştır. Elde edilen bulgular, cam

tozunun beton üretiminde potansiyel bir mineral katkı olarak kullanılabilirliğini göstermektedir. Aşağıda, bu sonuçlara dayalı bazı öneriler sunulmuştur:

- Cam tozu, geri dönüştürülen malzeme olarak beton üretiminde sürdürülebilir bir alternatif olarak düşünülmelidir. Çalışmamız, cam tozunun beton karışımlarının dayanımını artırabileceğini göstermektedir. Bu nedenle, cam tozu beton endüstrisinde daha fazla kabul görmeli ve kullanılmalıdır.
- Cam tozu kullanırken doğru oran belirlenmesi önemlidir. Araştırmamız, farklı oranlarda kullanılan cam tozunun betonun mekanik özelliklerine etki ettiğini göstermektedir. En iyi oranı belirlemek için daha fazla çalışma yapılmalıdır.
- Cam tozu ile birlikte lif kullanılması, beton karışımlarının performansını etkileyebilir. Bu nedenle, hangi lif türünün hangi miktarda kullanılacağına dair daha fazla araştırma yapılmalı ve karışımda homojen dağılmasına özen gösterilmelidir.
- Çalışmamız, cam tozunun betonun asit dayanımını artırabileceğini göstermektedir. Bu nedenle, özellikle asidik ortamlarda kullanılacak beton karışımlarında cam tozu kullanımı düşünülmelidir.
- Cam tozu kullanımının beton endüstrisindeki potansiyelini daha iyi anlamak için daha fazla deneysel çalışma ve saha uygulamaları gereklidir.

Bu öneriler, cam tozu kullanımının beton endüstrisindeki potansiyelini artırmak ve daha sürdürülebilir hale getirmek için bir adım olabilir. Gelecekteki çalışmalar cam tozu kullanımının daha yaygın hale gelmesine katkıda bulunabilir.

KAYNAKLAR

- Al-Obeidy, N. F., Khalil, W. I., Properties Of High Strength Eco-Friendly Concrete With Glass Waste Powder. *Global Journal of Engineering Science and Researches*, 3(10), 2016.
- Akın, S., Kaplan, A. N., Özel, C., Farklı Uzunluktaki Doğal Liflerin Beton Performansı Üzerine Etkileri, *Uluslararası Sürdürülebilir Mühendislik ve Teknoloji Dergisi*, 6(2), 80-84, 2022.
- Aliabdo, A. A., Abd Elmoaty, A. E. M., Aboshama, A. Y., Utilization of waste glass powder in the production of cement and concrete, *Construction and Building Materials*, 124, 866–877, 2016.
- Almeshal, I., Al-Tayeb, M., Qaidi, S., Abu Bakar, B. H., Tayeh, B. A., Mechanical properties of eco-friendly cements-based glass powder in aggressive medium, *Materials Today: Proceedings*, 58(4), 1582-1587, 2022.
- Anandaraj, S., Raja, K., Mohamad Abbas, M., Madan Kumar, T., Varatharajan, K., Nivashini, N., Experimental study on luffa fiber reinforced concrete using glass powder as cement replacement, *Materials Today: Proceedings*, 2023.
- Asgarian, A., Roshan, N., Ghalehnovi, M., The Strength, Microstructure, and ecological assessment of concrete mix incorporating waste glass powder and polypropylene fiber, *Construction and Building Materials*, 371, 2023.
- ASTM C1760 Standard Test Method for Bulk Electrical Conductivity of Hardened Concrete, Withdrawn 2021.
- ASTM C1585-13 Standard Test Method for Measurement of Rate of Absorption of Water by Hydraulic-Cement Concretes, 2020.
- Atabey, İ. İ., Ay, C., Kalsiyum Alüminat Çimentosunun Farklı Kür Koşullarında Atık Cam Tozu Esaslı Geopolimer Harçların Fiziksel ve Mekanik Özelliklerine Etkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, Ejosat Özel Sayı 2021 (ARACONF), 184-189, 2021.
- Balasubramanian, B., Krishna G., Saraswathy, V., Srinivasan, K., Experimental investigation on concrete partially replaced with waste glass powder and waste E-plastic, *Construction and Building Materials*, 278, 2021.

- Bertron, A., Peyre Lavigne, M., Patapy, C., Erable, B., Biodeterioration of concrete in agricultural, agro-food and biogas plants: state of the art and challenges, RILEM Technical Letters, 83-89, 2017.
- Bouty, A., Homsy, F., The effects of partially replacing cement by glass waste powder on concrete properties, Journal of Silicate Based and Composite Materials, 73(2), 40-43, 2021.
- Bisht, K., Ramana., P.V., Sustainable production of concrete containing discarded beverage glass as fine aggregate, Construct. Build. Mater., 177, 116-124, 2018.
- Bisht, K., Syed, K.I., Kabeer, A., Ramana, P.V., Gainful utilization of waste glass for production of sulphuric acid resistance concrete, Construction and Building Materials, 235, 2020.
- Boukhelf, F., Cherif, R., Trabelsi, A., Belarbi, R., Bachir Bouiadjra, M., On the ygrothermal behavior of concrete containing glass powder and silica fume, Journal of Cleaner Production, 318, 2021.
- Bozkurt, N., Sayın, N., Günümüz Teknolojileri Çerçevesinde Çimento Dünyasındaki Gelişmelerin Araştırılması, DÜBİTED, 9(4), 1159-1173. 2021.
- Camacho, R. E. R., Afif. R. U., Importance of Using the Natural Pozzolans on Concrete Durability, Cement and Concrete Research. Elsevier, 32, 1851-1858, 2002.
- Chai, L.T., Sun P.C., Wing, W.H., Management and recycling of waste glass in concrete products: Current situations in Hong Kong, Resour. Conserv. Recy., 70, 25-31, 2013.
- Chandra Paul, S., Šavija, B., Babafemi, A. J, A comprehensive review on mechanical and durability properties of cement-based materials containing waste recycled glass. J. Clean. Prod., 198, 891-906, 2018.
- Chen, X., Chen, H., Tan, W., Effect of glass powder on the mechanical and drying shrinkage of glass-fiber-reinforced cementitious composites, Case Studies in Construction Materials, 17, 2022.

- Çınar, E., Dündar, B., Şahin, E., Cam Tozu Katkılı Lifli Harçların Fiziksel ve Mekanik Özellikleri, *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 3(1), 17-23, 2020.
- Dayı, M., Aruntaş, H., Çavuş, M., Şimşek, O., Zeolit, Uçucu Kül Ve Atık Cam Malzemelerin Portland Kompoze Çimento Üretiminde Kullanılabilirliğinin Araştırılması, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 28(3), 2013.
- Dündar, B., Çınar, E., Peşin., S., Bazalt ve Karbon Lif Takviyeli Betonların Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması, *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 10(4), 1039-1048, 2020.
- Dündar, B., Resuloğlu, Ç. E., Karıcı T. C., Dönmez, A., Cam Tozu ve Uçucu Kül Katkılı Harçların Zamana Bağlı Elektriksel Özdirenç ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 10, 91-106, 2022.
- Elaqra, H., Abou Haloub, M., Rustom, R., Effect of new mixing method of glass powder as cement replacement on mechanical behavior of concrete, *Construction and Building Materials*, 203, 75-82, 0950-0618, 2019.
- Erdoğan T. Y., Beton, ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayn. ve İletişim Şti, 130-160, Ankara, 2003.
- Gerges, N. N., Issa, C. A., Fawaz, S. A., Jabbour, J., Jreige J., Recycled glass Concrete : coarse and fine aggregates, *EJERS, Eur. J. Eng. Res. Sci.*, 3, 1-9, 2018.
- Grengg, C., Mittermayr, F., Koraimann, G., Konrad, F., Szabo, M., Demeny, A., Dietzel, M., The decisive role of acidophilic bacteria in concrete sewer networks: a new model for fast progressing microbial concrete corrosion, *Cement and Concrete Research*, 93-101, 2017.
- Gupta, J., Jethoo, A. S., Ramana, P. V., Evaluating long term properties of concrete using waste beverage glass, *Materials Today: Proceedings*, 61(2), 297-306, 2214-7853, 2022.
- Günaydın, O., Güçlüer, K., Bazalt Lifi Katkılı Betonların Mekanik Özelliklerinin Araştırılması, *El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi*, 5(2), 416-424, 2018.

- Kalakada, Z., Doh, J. H., Zi, G., Utilisation of coarse glass powder as pozzolanic cement-A mix design investigation, *Construction and Building Materials*, 240 (117916), 11, 2020.
- Letelier, V., Henriquez-Jara, B. I., Manosalva, M., Parodi, C., Ortega, J. M., Use of waste glass as a replacement for raw materials in mortars with a lower environmental impact, *Energies*, 12, 1974, 2019.
- Li, A., Qiao, H., Li, Q., Hakuzweyezu, T., Chen, B., Study on the performance of pervious concrete mixed with waste glass powder, *Construction and Building Materials*, 300, 123997, 2021.
- Li, B., Xu, L., Shi, Y., Chi, Y., Liu, Q., Li, C., Effects of fiber type, volume fraction and aspect ratio on the flexural and acoustic emission behaviors of steel fiber reinforced concrete, *Construct. Build. Mater.*, 181, 474-486, 2018.
- Mehta, A., Ashish, D. K., Silica fume and waste glass in cement concrete production: A review. *Journal of Building Engineering*, 29, 100888, 2020.
- Meyer, C., Egosi, N., Andela, C., Concrete with waste glass as aggregate. *J. Chem. Inf. Model.*, 53, 1689-1699, 2001.
- Miller, S. A., Horvath, A., Monteiro, P. J. M., Readily implementable techniques can cut annual CO₂ emissions from the production of concrete by over 20%, *Environmental Research Letters*, 11(7), 074029, 2016.
- Mohajerani, A., Vajna, J., Cheung, T. H. H., Kurmus, H., Arulrajah, A., Horpibulsuk S., Practical recycling applications of crushed waste glass in construction materials: a review, *Construct. Build. Mater.*, 156, 443-467, 2017.
- Nassar, R. U. D., Soroushian, P., Sufyan-Ud-Din, M., Long-term field performance of concrete produced with powder waste glass as partial replacement of cement, *Case Studies in Construction Materials*, 15, e00745, 2021.
- Sağlık, A., Sümer, O., Tunç, E., Borlu Aktif Belit (BAB) Çimentosu ve DSĞ Projelerinde Uygulanabilirliği DSĞ Teknik Bülteni Sayı: 105, 2009.
- Sim, J., Park, C., Moon, D., Characteristics of basalt fiber as a strengthening material for concrete structures. *Composites: Part B*, 504-512, 2005.

- Orouji, M., Zahrai, S. M., Najaf, E., Effect of glass powder & polypropylene fibers on compressive and flexural strengths, toughness and ductility of concrete: An environmental approach, *Structures*, 33, 4616-4628, 2021.
- Paktiawal,A., Alam, M., Experimental evaluation of sorptivity for high strength concrete reinforced with zirconia rich glass fiber and basalt fiber, *Materials Today: Proceedings*, 49(5), 1132-1140, 2022.
- Paul, D., Bindhu, K. R., Matos, A. M., Delgado, J., Eco-friendly concrete with waste glass powder: A sustainable and circular solution, *Construction and Building Materials*, 355, 129217, 0950-0618, 2022.
- Penacho, P., Brito, J. D., Veiga, M. R., Physico-mechanical and performance characterization of mortars incorporating fine glass waste aggregate, *Cement Concr. Compos.*, 50, 47-59, 2014.
- Qiu, P., Zhang, L., Li, Y., Li, B., Zhu, J., Ma, C., Bi, X., Yu, Y., Permeability evolution model of coarse porous concrete under sulphuric acid corrosion, *Construction and Building Materials*, 326, 126475, 2022.
- Raju, A. S., Anand, K. B., Rakesh, P., Partial replacement of Ordinary Portland cement by LCD glass powder in concrete, *Materials Today: Proceedings*, 46(10), 5131-5137, 2021.
- Serpa, D., Santos Silva, A., De Brito, J., Pontes, J., Soares D., ASR of mortars containing glass. *Construct. Build. Mater.*, 47, 489-495, 2013.
- Shayan, A., Xu, A., Value-added utilisation of waste glass in concrete, *Cement Concr. Res.* 34, 81-89, 2004.
- Siad, H., Lachemi, M., Sahmaran, M., Hossain, A., Effect of glass powder on sulfuric acid resistance of cementitious materials, *Construction and Building Materials*, 113, 163-173, 2016.
- Şimşek, O., Demir, Ş., Mermer tozu katkılı lifli betonun fiziksel ve mekanik özelliklerine lif tipi ve oranının etkisi, *Politeknik Dergisi*, 25(3), 1043-1055, 2022.
- TS EN 123-2, Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 3: Deney numunelerinin basınç dayanımının tayin, TSE, Ankara Turkey, 2019.

- TS EN 197-1, Çimento - Bölüm 1: Genel çimentolar - Bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri, TSE, Ankara Turkey, 2012.
- TS EN 706 EN12620 + A1 2009, Beton agregaları, TSE, Ankara Turkey, 2009.
- TS EN 802, Beton Karışım Tasarımı Hesap Esasları, TSE, Ankara Turkey, 2016.
- TS EN 1008, Beton-Karma Suyu-Numune Alma, deneyler ve beton endüstrisindeki işlemlerden geri kazanılan su dahil, suyun, beton karma suyu olarak uygunluğunun tayini kuralları, TSE, Ankara, Türkiye, 2003.
- TS EN 1170-6, Precast concrete products-test method for glass fibre reinforced cement-part 6: determination of the absorption of water by immersion and determination of the dry density, TSE, Ankara Turkey, 1999.
- TS EN 12350-2, Beton - Taze beton deneyleri - Bölüm 2: Çökme (slump) deneyi, TSE, Ankara Turkey, 2019.
- TS EN 12390-2, Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 2: Dayanım deneylerinde kullanılacak deney numunelerinin hazırlanması ve küre tabi tutulması, TSE, Ankara Turkey, 2019.
- TS EN 12390-3, Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 3: Deney numunelerinin basınç dayanımının tayin, TSE, Ankara Turkey, 2019.
- TS EN 12390-6, Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 6: Deney numunelerinin yarmada çekme dayanımının tayini, TSE, Ankara Turkey, 2010.
- TS EN 12504-4, Yapılarda beton deneyleri - Bölüm 4: Ultrasonik atımlı dalga hızının tayini, TSE, Ankara Turkey, 2021.
- TS EN 14157, Doğal taşlar - Deney yöntemleri - Aşınma direncinin tayini, TSE, Ankara Turkey, 2017.
- Valery, V., Vasiliev, E., Morozov, V., *Advanced Mechanics of Composite Materials and Structures (Fourth Edition)*, Elsevier, xvii-xxv, 2018.
- Vijayakumar, G., Vishaliny, H., Govindarajulu, D., *Studies on glass powder as partial replacement of cement in concrete production. International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 3(2), 153-157, 2013.

- Wang, H. Y., The effect of the proportion of thin film transistor–liquid crystal display (TFT–LCD) optical waste glass as a partial substitute for cement in cement mortar, *Construction and Building Materials*, 25(2), 791-797, 2011.
- Wang, H. Y., Wang, C. C., Chang, S. C., Lin, J. C., A study of engineering and electricity properties of cement mortar added with recycled materials and piezoelectric powders, *Construction and Building Materials*, 113, 297-305, 2016.
- Wen, J., Wang, B., Dai, Z., Shi, X., Jin, Z., Wang, H., Jiang, X., New insights into the green cement composites with low carbon footprint: The role of biochar as cement additive/alternative, *Resources, Conservation and Recycling*, 197, 2023.
- Whitehurst, E., Soniscope Tests Concrete Structures, *J. of American Concrete Institute*, 443-444, 1951.
- Xiao, J., Long, X., Qu, W., Li, L., Jiang, H., Zhong, Z., Influence of sulfuric acid corrosion on concrete stress–strain relationship under uniaxial compression, *Measurement*, 187, 110318, 2022.
- Yan, P., Chen, B., Afgan, S., Haque, M. A., Wu, M., Han, J., Experimental research on ductility enhancement of ultra-high performance concrete incorporation with basalt fibre, polypropylene fibre and glass fibre, *Construction and Building Materials*. 279, 122489, 2021.
- Yasouj, E., Ghaderi, A., Experimental investigation of waste glass powder, basalt fibre, and carbon nanotube on the mechanical properties of concrete, *Construction and Building Materials*, 252, 119115, 2020.
- Yassen, M. M., Hama, S. M., ve Mahmoud, A. S., Reusing of glass wastes as Powder as partial of cement in Production of Concrete. 2018 11th International Conference on Developments in eSystems Engineering (DeSE), 330-334, 2018.
- Yoo, D. Y., Lee, Y., You, I., Banthia, N., Zi, G., Utilization of liquid crystal display (LCD) glass waste in concrete: A review, *Cement and Concrete Composites*, 130, 104542, 2022.
- Yu, H., Meng, T., Zhao, Y., Liao, J., Ying K., Effects of basalt fiber powder on mechanical properties and microstructure of concrete. *Case Studies in Construction Materials*, 17, e01286, 2022.

- Yurt, Ü., Dündar, B., Çınar, E., Jeopolimer Betonlarda Sülfürik Asit Etkisinin Araştırılması, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 8, 1548-1561, 2020.
- Zhang, H., Ji, S., Wang, L., Jin, C., Liu, X., Li, X., Study on dynamic splitting tensile damage characteristics of basalt fiber reinforced concrete based on AE and DSCM. *Journal of Building Engineering*, 57, 104905, 2022.
- Zhang W., Analysis on methods of improving concrete performance. *China Sci Technol Inform*, 8, 96-97, 2011.
- Zhang, C., Wang, J., Song, W., Fu, J., Effect of waste glass powder on pore structure, mechanical properties and microstructure of cemented tailings backfill. *Construction and Building Materials*, 365, 2023.
- Zidol, A., Tognonvi, M.T., Tagnit-Hamou, A., Effect of glass powder on concrete sustainability. *New J. Glass Ceram.*, 7, 34-47, 2017.



ÖZGEÇMİŞ

1. **Adı Soyadı:** Yelid BÜYÜKKURT

2. **Doğum Tarihi:**

3. **Ünvanı:** İnşaat Mühendisi

4. **Öğrenim Durumu:**

Derece	Alan	Üniversite	Yıl
Lisans	İnşaat Mühendisliği	Süleyman Demirel Üniversitesi	2009 - 2013
Yüksek Lisans	İnşaat Mühendisliği	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi	2021 - 2023

5. **Ulusal bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitabında basılan bildiriler:**

Büyükkurt, Y., Dündar, B., Resuloğulları, Ç. E., Cam Tozu Katkılı Betonların Mühendislik Özelliklerinin İncelenmesi, Conference: International Korkut Ata Scientific Researches, Osmaniye, Haziran, 2022.