

T.C.
KASTAMONU ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MALZEME BİLİMİ VE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI



GENLEŞTİRİLMİŞ PERLİT İLE ÜRETİLEN KÖPÜK
BETONLARDA ATIK CAMLARIN DEĞERLENDİRİLMESİNİN
ARAŞTIRILMASI

OĞUZ ARSLAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DR. ÖĞR. ÜYESİ OĞUZHAN YAVUZ BAYRAKTAR

OCAK - 2022
KASTAMONU

TAAHHÜTNAME

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu; ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını, bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini bildirir ve taahhüt ederim.

Oğuz ARSLAN

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GENLEŞTİRİLMİŞ PERLİT İLE ÜRETİLEN KÖPÜK BETONLARDA ATIK CAMLARIN DEĞERLENDİRİLMESİNİN ARAŞTIRILMASI

OĞUZ ARSLAN

KASTAMONU ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MALZEME BİLİMİ VE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

DANIŞMAN:DR. ÖĞR. ÜYESİ OĞUZHAN YAVUZ BAYRAKTAR

Köpük beton, agregalı veya agregasız üretilebilen, yüksek gözenekliliğe sahip bir beton türünü ifade eder. Köpük beton, geleneksel betona göre genel olarak daha üstün ısı yalıtım özelliklerine sahiptir. Başlıca termal faydalarına rağmen, yüksek Portland çimentosu içeriği ve ayrıca çok yüksek gözenekliliği, kimyasalların ve serbest suyun beton gözeneklerine girmesine izin vererek köpük betonu kuruma büzülmesine yatkın hale getirir. Bunu ele almak ve gözenek ağ bağlantısını azaltmak için, bu çalışmada, karışımlardaki ana agregalar olarak genişletilmiş perlit ve ince boyutlu atık cam kullanılmıştır. Bu bağlamda, su/bağlayıcı oranı (w/b) 0,5 olan iki köpük içeriği 50 ve 100 kg/m³ olan 10 köpük beton karışımı üretilmiştir. Her karışımda, baskın genişmiş perlit agregası, < 2,36 mm boyutuna sahip atık cam ile değiştirildi. Görünür gözeneklilik, su emme, basınç ve eğilme mukavemeti, emicilik, ultrasonik darbe hızı (UPV), kuruma büzülmesi, donma-çözülme, alkali-silika reaksiyonu, termal iletkenlik ve termal direnç testleri, fiziko-mekanik, dayanıklılık ve köpük betonun yalıtım özellikleri. Sonuçlara dayalı olarak, cam agrega ilavesinin köpük betonun fiziko-mekanik ve dayanıklılık özelliklerini iyileştirdiği bulunmuştur. Genişletilmiş perlitin eklenmesi, potansiyel olarak cam agrega ile karşılaştırıldığında genişmiş perlitin yüksek gözenekliliğinden dolayı köpük betonun yalıtım özelliklerini artırır. Bu çalışmanın bulguları, atık cam agregaların kullanımıyla sürdürülebilir yalıtım köpük betonu üretmenin uygunluğuna işaret etmektedir.

ANAHTAR KELİMELER:Alkali-silika reaksiyonu, Atık cam, Genleştirilmiş perlit, Köpük beton, Yüksek sıcaklık

Ocak 2022, 88 Sayfa

ABSTRACT

MSC THESIS

INVESTIGATION OF THE EVALUATION OF WASTE GLASS IN FOAM CONCRETE PRODUCED WITH EXPANDED PERLITE

OĞUZ ARSLAN

**KASTAMONU UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE
DEPAERTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING**

SUPERVISOR:DR. ÖĞR. ÜYESİ OĞUZHAN YAVUZ BAYRAKTAR

Foam concrete refers to a type of concrete with high porosity that can be produced with or without aggregate. Foam concrete has generally superior thermal insulation properties compared to conventional concrete. Despite its major thermal benefits, the high content of Portland cement, as well as its very high porosity, makes foam concrete prone to drying shrinkage by allowing the entrance of chemicals and free water to the concrete pores. To address this and reduce the pore network connectivity, in this study, expanded perlite and fine-sized waste glass were used as the main aggregates in the mixes. In that respect, 10 mixes of foam concrete were produced with two foam contents of 50 and 100 kg/m³, with a water-to-binder ratio (w/b) of 0,5. In each mix, the dominated expanded perlite aggregate was replaced by waste glass having a size of < 2,36 mm. Apparent porosity, water absorption, compressive and flexural strength, sorptivity, ultrasonic pulse velocity (UPV), drying shrinkage, freeze-thaw, alkali-silica reaction, thermal conductivity, and thermal resistance tests were performed to investigate the physico-mechanical, durability and insulation properties of the foam concrete. Based on the results, it is found that the addition of glass aggregate improves physico-mechanical and durability properties of foam concrete. The addition of expanded perlite increases the insulating properties of foam concrete, potentially due to the high porosity of expanded perlite compared to that of glass aggregate. The findings of this study point to the suitability of producing sustainable insulating foam concrete through the use of waste glass aggregates.

KEYWORDS:Alkali-silica reaction, Waste glass, Expanded perlite, Foam concrete, High temperature

January 2022, 88 Page

TEŞEKKÜR

Bu akademik araştırma için beni yönlendiren, tez danışmanlığımı üstlenen bilgi ve tecrübesi ile her aşmada bana yardımcı olan çok değerli danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Oğuzhan Yavuz Bayraktar'a teőekkürlerimi sunarım. Tez jrime katılan saygıdeğer hocalarım Doç. Dr. Mehmet ÇETİN ve Dr. Öğr. Üyesi Gökhan KAPLAN'a teşekkür ederim. Çalışmam süresince benden maddi ve manevi desteklerini hiç esirgemeyen kıymetli aileme minnettarım.

OĞUZ ARSLAN

Kastamonu, 2022

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
TEZ ONAYI	i
TAAHHÜTNAME	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
TABLolar DİZİNİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR İNCELEMESİ	4
2.1 Beton.....	4
2.1.1 Köpük Beton	4
2.2 Camlar	5
2.2.1 Camın Tanımı	5
2.2.2 Atık Camların Geri Kazanımının Önemi	6
2.2.3 Beton Endüstrisinde Atık Camların Kullanılması	7
2.3 Genleştirilmiş Perlit.....	10
3. MATERYAL VE METOD	11
3.1 Materyal.....	11
3.1.1 Çimento.....	11
3.1.2 Agregası.....	12
3.1.3 Karışım Suyu	12
3.1.4 Atık Cam Agregası ve Tozu	12
3.1.5 Köpük Ajantı.....	13
3.2 Köpük Betonların Üretimi	13
3.3 Deneysel Çalışma	14
3.3.1 Yayılma.....	14
3.3.2 Fiziksel Özellikler	15
3.3.2.1 Su emme, porozite ve birim hacim ağırlık deneyleri	15
3.3.3 Mekanik Özellikler	15
3.3.4 Kuruma Büzülmesi	16
3.3.5 Yüksek Sıcaklık Etkisinin Belirlenmesi	16
3.3.6 Donma Çözülme Deneyi.....	17
3.3.7 Ultrases Geçiş Hızı Deneyi.....	17
3.3.8 ASR Deneyi	17
3.3.9 Isıl İletkenlik Deneyi	18
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	19
4.1 Taze Hal Özellikleri ve Birim Hacim Ağırlık	19
4.2 Eğilme Dayanımı.....	20
4.3 Basınç Dayanımı	24
4.4 Porozite ve Su Emme	28
4.5 Kapilarite	31
4.6 Kuruma Büzülmesi.....	34

4.7	Alkali Silika Reaksiyonu (ASR)	37
4.8	Isıl İletkenlik.....	40
4.9	Yüksek Sıcaklık Dayanıklılığı.....	43
4.9.1	Hava Soğutma İle.....	43
4.9.2	Su İle Soğutma.....	51
4.10	Donma Çözülme.....	59
5.	SONUÇLAR.....	73
	KAYNAKLAR.....	75
	ÖZGEÇMİŞ.....	88

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 3.1 Çimento.....	11
Şekil 3.2 Genleştirilmiş Perlit	12
Şekil 3. 3 Agregalı camı	12
Şekil 3. 4 Bağlayıcı camı... ..	13
Şekil 3. 5 Köpük ajanı.....	13
Şekil 4.1 Taze hal yayılma sonuçları a) Köpük oranı 50 kg/m ³ b) Köpük oranı 100 kg/m ³	20
Şekil 4.2 Cam agregalı karışımların eğilme dayanımı a) Köpük oranı 50 kg/m ³ b) Köpük oranı 100 kg/m ³	22
Şekil 4. 3 Cam bağlayıcılı karışımların eğilme dayanımı a) Köpük oranı 50 kg/m ³ b) Köpük oranı 100 kg/m ³	23
Şekil 4.4 Cam agregalı karışımların basınç dayanımı a) Köpük oranı 50 kg/m ³ b) Köpük oranı 100 kg/m ³	25
Şekil 4.5 Cam bağlayıcılı karışımların basınç dayanımı a) Köpük oranı 50 kg/m ³ b) Köpük oranı 100 kg/m ³	27
Şekil 4. 6 Cam agregalı karışımların porozite ve su emme oranları a) Köpük oranı 50 kg/m ³ b) Köpük oranı 100 kg/m ³	29
Şekil 4.7 Cam tozu ikameli karışımların porozite ve su emme oranları a) Köpük oranı 50 kg/m ³ b) Köpük oranı 100 kg/m ³	31
Şekil 4.8 Cam agregalı karışımların kapilarite sonuçları a) Köpük oranı 50 kg/m ³ b) Köpük oranı 100 kg/m ³	32
Şekil 4.9 Cam tozu ikameli karışımların kapilarite sonuçları a) Köpük oranı 50 kg/m ³ b) Köpük oranı 100 kg/m ³	33
Şekil 4.10 Cam agregalı karışımların kuruma büzülme oranları a) Köpük oranı 50 kg/m ³ b) Köpük oranı 100 kg/m ³	35
Şekil 4.11 Cam tozu ikameli karışımların kuruma büzülme oranları a) Köpük oranı 50 kg/m ³ b) Köpük oranı 100 kg/m ³	36
Şekil 4.12 Cam agregalı karışımların ASR sonuçları a) Köpük oranı 50 kg/m ³ b) Köpük oranı 100 kg/m ³	38
Şekil 4.13 Cam tozu ikameli karışımların ASR sonuçları a) Köpük oranı 50 kg/m ³ b) Köpük oranı 100 kg/m ³	40
Şekil 4.14 Cam agregalı karışımların ısı iletkenlik katsayıları a) Köpük oranı 50 kg/m ³ b) Köpük oranı 100 kg/m ³	41
Şekil 4.15 Cam tozu bağlayıcılı karışımların ısı iletkenlik katsayıları a) Köpük oranı 50 kg/m ³ b) Köpük oranı 100 kg/m ³	42
Şekil 4.16 Yüksek sıcaklık etkisine maruz bırakılan cam agregalı karışımların hava soğutma sonrası UGH değişimi (km/s) a) Köpük oranı 50 kg/m ³ b) Köpük oranı 100 kg/m ³	44
Şekil 4.17 Yüksek sıcaklık etkisine maruz bırakılan cam agregalı karışımların hava soğutma sonrası eğilme dayanımları a) Köpük oranı 50 kg/m ³ b) Köpük oranı 100 kg/m ³	45
Şekil 4.18 Yüksek sıcaklık etkisine maruz bırakılan cam agregalı karışımların hava soğutma sonrası basınç dayanımları	

	a) Köpük oranı 50 kg/m ³ b) Köpük oranı 100 kg/m ³	47
Şekil 4.19	Yüksek sıcaklık etkisine maruz bırakılan cam agregalı karışımların hava soğutma sonrası kütle kaybı	
	a) Köpük oranı 50 kg/m ³ b) Köpük oranı 100 kg/m ³	48
Şekil 4.20	Yüksek sıcaklık etkisine maruz bırakılan cam tozu bağlayıcılı karışımların hava soğutma sonrası UGH değişimi (km/s)	
	a) Köpük oranı 50 kg/m ³ b) Köpük oranı 100 kg/m ³	50
Şekil 4.21	Yüksek sıcaklık etkisine maruz bırakılan cam tozu bağlayıcılı karışımların hava soğutma sonrası basınç dayanımları	
	a) Köpük oranı 50 kg/m ³ b) Köpük oranı 100 kg/m ³	51
Şekil 4.22	Yüksek sıcaklık etkisine maruz bırakılan cam agregalı karışımların su soğutma sonrası UGH değişimi (km/s)	
	a) Köpük oranı 50 kg/m ³ b) Köpük oranı 100 kg/m ³	53
Şekil 4.23	Yüksek sıcaklık etkisine maruz bırakılan cam agregalı karışımların su soğutma sonrası eğilme dayanımları	
	a) Köpük oranı 50 kg/m ³ b) Köpük oranı 100 kg/m ³	54
Şekil 4.24	Yüksek sıcaklık etkisine maruz bırakılan cam agregalı karışımların su soğutma sonrası basınç dayanımları	
	a) Köpük oranı 50 kg/m ³ b) Köpük oranı 100 kg/m ³	56
Şekil 4.25	Yüksek sıcaklık etkisine maruz bırakılan cam tozu bağlayıcılı karışımların su soğutma sonrası UGH değişimi (km/s)	
	a) Köpük oranı 50 kg/m ³ b) Köpük oranı 100 kg/m ³	58
Şekil 4.26	Yüksek sıcaklık etkisine maruz bırakılan cam tozu bağlayıcılı karışımların su soğutma sonrası basınç dayanımları	
	a) Köpük oranı 50 kg/m ³ b) Köpük oranı 100 kg/m ³	59
Şekil 4.29	Donma-çözünme etkisine maruz bırakılan cam agregalı karışımların eğilme dayanımları a) Köpük oranı 50 kg/m ³	
	b) Köpük oranı 100 kg/m ³	61
Şekil 4.30	Donma-çözünme etkisine maruz bırakılan cam agregalı karışımların basınç dayanımları a) Köpük oranı 50 kg/m ³	
	b) Köpük oranı 100 kg/m ³	62
Şekil 4.31	Donma-çözünme etkisine maruz bırakılan cam agregalı karışımların kütle kaybı oranları a) Köpük oranı 50 kg/m ³	
	b) Köpük oranı 100 kg/m ³	64
Şekil 4.32	Donma-çözünme etkisine maruz bırakılan cam agregalı karışımların UGH değişimi (km/s) a) Köpük oranı 50 kg/m ³	
	b) Köpük oranı 100 kg/m ³	65
Şekil 4.33	Donma-çözünme etkisine maruz bırakılan cam tozu bağlayıcılı karışımların eğilme dayanımları a) Köpük oranı 50 kg/m ³	
	b) Köpük oranı 100 kg/m ³	67
Şekil 4.34	Donma-çözünme etkisine maruz bırakılan cam tozu bağlayıcılı karışımların basınç dayanımları a) Köpük oranı 50 kg/m ³	
	b) Köpük oranı 100 kg/m ³	69
Şekil 4.35	Donma-çözünme etkisine maruz bırakılan cam tozu bağlayıcılı karışımların kütle kaybı oranları a) Köpük oranı 50 kg/m ³	
	b) Köpük oranı 100 kg/m ³	70
Şekil 4.36	Donma-çözünme etkisine maruz bırakılan cam tozu bağlayıcılı karışımların UGH değişimi a) Köpük oranı 50 kg/m ³	
	b) Köpük oranı 100 kg/m ³	72

TABLÖLAR DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 3.1 CEM I 42.5 R çimentosunun kimyasal ve fiziksel özellikleri	11
Tablo 3.2 Genleştirilmiş perlite ait teknik bilgiler	12
Tablo 3.3 Karışım ve kür de kullanılan suyun özellikleri	12

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

CaO	: Kalsiyum Oksit
SiO₂	: Silisyum Oksit
Al₂O₃	: Alüminyum Oksit
MgO	: Magnezyum Oksit
SO₃	: Kükürt Trioksit
Na₂O	: Sodyum Oksit
K₂O	: Potasyum Oksit
°C	: Santigrad Derece

Kısaltmalar

DKY	: Doygun Kuru Yüzey
UGH	: Ultrases Geçiş Hızı
ASR	: Alkali Silika Reaksiyonu

1. GİRİŞ

Modern dünyada beton en fazla kullanılan yapı malzemelerinin başında gelmektedir (Kaplan ve Bayraktar, 2021). Bu nedenle beton teknolojisi sürekli gelişim göstermekte ve bu sayede tüm yıl boyunca en olumsuz iklim koşullarında bile neredeyse beton imalatı ve dökümü gerçekleştirilmektedir. En genel anlamda su, çimento ve agrega karışımından oluşan geleneksel beton zamanla ihtiyaçlara cevap veremez hale gelmiştir. Bu da amaca yönelik beton kavramını ortaya çıkarmıştır. Bunlara özel betonlarda denilebilmektedir. Bu beton türlerinden bir tanesi de hafif betonlardır.

Yaklaşık iki bin yıl önce Romalılar, sıcak kireç ve su ile karıştırılmış küçük çakıl ve kaba kumdan oluşan bir beton karışımı üretiyorlardı. Karışıma hayvan kanı ilave ederek karışımın daha uygulanabilir ve dayanıklı olmasını sağlayan küçük hava kabarcıkları meydana geldiğini fark ettiler (Aldrige, 2005). İsveç ve Danimarka'da 1900'lü yılların başlarında, hava kabarcıkları ile karışan çimento esaslı malzemelerin imalatı, ticari olarak başlamıştır. 1923 yılına kadar Axel Eriksson tarafından patentli hale getirilen ilk Portland çimento bazlı köpük betona kadar bu alanda ve bu tarzdaki malzemelerle ilgili önemli bir gelişme olmamış ve ilerleme sağlanmamıştır (Beningfield vd. , 2005; Jones ve McCarthy, 2005). Çimento esaslı hücreli bileşikler artık malzemenin içinde havanın üç farklı şekilde oluşturulmasıyla üretiliyor. Bunlar: büyük miktarlarda hava tutan güçlü maddelerin eklenmesiyle, karıştırma işlemi esnasında gaz kabarcıklarını açığa çıkartan kimyasal katkı maddeleri vasıtasıyla veya köpük ajanlarının eklenmesiyle sağlanıyor (Cox ve van Dijk, 2002; Goual vd. , 2006).

Genel olarak, köpük betonun karışım bileşimi, çimento esaslı malzemelerden, kum, su ve içinde hapsolan havadan oluşur. Bu nedenle kaba agrega içermez. Cox, ürünün köpüren sıradan beton olmadığını belirtmiştir (Cox, 2005; Kearsley ve Mostert, 2005). Gözenekler suyla seyreltilmiş bir köpük ajanı ile karıştırılmasıyla elde edilir ve böylece bir köpük oluşturulur. Bu köpük daha sonra çimento esaslı harç ile dikkatlice karıştırılır (Kearsley ve Mostert, 2005). Kearsley hacmin en az %20'sinin plastik harca giren köpükten oluştuğunu belirtmiştir (Jones ve McCarthy, 2005; Kearsley ve Mostert, 2005). Puzolanlar bünyesinde yüksek miktarda SiO₂ içermektedir ve bu

özelliği sayesinde beton ve çimento teknolojileri alanının pek çok safhasında kullanılmaktadır. Ülkemiz diğer ülkelerle karşılaştırıldığında hem doğal hem de yapay puzolanlar bakımından önemli bir konumdadır. Günden güne endüstrinin gelişmesi beraberinde hâlihazırda var olan kirlilik sorunlarına bir yenisini daha eklemekte ve bu oluşan kirlilik günümüzün en ciddi sorunları arasında yer almaktadır (Papayianni ve Milud, 2005). Yakın geçmişte yapılan Kyoto Sözleşmesi kapsamında dünyadaki CO₂ salınım oranlarını düşürme zorunluluğu vurgulanmıştır (Lee ve Hung, 2005). Bu kapsamı göz önünde bulundurarak; inşaat sektöründe verimlilik ve tasarruf sağlamak için çeşitli alanlarda üretim sonucu açığa çıkan endüstriyel atıklar çimento ve betonda belirli miktarda kullanılmaktadır.

Her gün biraz daha büyüyen sanayi ile beraberinde bu alanda üretimlerden dolayı pek çok atık materyal ortaya çıkmaktadır. Bu açığa çıkan materyallerin önemli bir kısmı depolanarak muhafaza edilmekte olup bunun sonucunda da çevre kirliliği biraz daha artmaktadır. Bu depolanarak muhafaza edilen atık materyallerin birçok alanda değerlendirilmesiyle; bundan dolayı oluşan çevre kirliliğinin önüne geçmek hedeflenir (Lee ve Hung, 2005). Betonda kullanılacak çimento miktarının azaltılmasına yönelik yapılan çalışmalar sonucunda çimento yerine belirli yüzdelerle kullanılarak, betonda çimento ihtiyacını azaltan mineral katkı malzemeleri geliştirilmiştir. Ayrıca mineral katkıları çimento üretimi neticesinde oluşan çevresel kirlilik etkisini azaltarak enerji kaynaklarını faydalı kullanmaya yardımcı olmanın yanı sıra sürdürülebilir bir yapı oluşmasına katkı sağlamaktadır (Kearsley ve Wainwright, 2002).

Dünyada her yıl ortaya çıkan milyonlarca tonluk atık camların bir kısmı cam üretimi yapan fabrikalarda geri dönüşümde kullanılmaktadır. Özellikle Almanya (2003 yılında) atık camların %94'ünü, İsveç ise (2010 yılında) %93'ü gibi büyük bir çoğunluğunu geri dönüştürebilmiş iken ülkemizde bu oran maalesef (2004 yılında) %66 seviyesinde kalmıştır. Bu sebeple atık camların ayrıştırılması sonrasında beton ve/veya betonarme yapılarda kullanılabilirliğinin araştırılması önem kazanmıştır. Bu çalışmanın amacı, endüstriyel bir atık olan cam atıklarının beton içerisindeki davranışının incelenmesidir. Bilindiği üzere her yıl milyonlarca liraya mal olan cam atıklarının bertarafı yerine beton üretiminde agrega yerine kullanılarak, ülke ekonomisine katkı sağlanması hedeflenmiştir. Her ne kadar, cam atıklarının geri

dönüşüm oranı teorik olarak %100 olsa bile, özellikle ülkemizin de içinde bulunduğu gelişmekte olan ülkelerde pratikte bu pek mümkün olamamaktadır.

Puzolanik bir malzeme olan perlit, genişmiş haliyle önceki hacminin yirmi katına kadar çıkabilen ve bu şekilde oldukça hafif olan, çok iyi ses ve ısı izolasyonu özelliği olan bir kayadır. Dünya'daki olası perlit rezervinin yaklaşık %74'üne Türkiye sahiptir. Dünya'da ve ülkemizde, perlit kullanımı en fazla inşaat sektöründedir. Bundan dolayı, perlit tüketimi inşaat sektöründeki olumsuzluklardan bir hayli etkilenmektedir. Perlitin ısı yalıtımı, ses yalıtımı ve depreme karşı dayanıklılık avantajları açısından önemli üstünlüklerinin olması, inşaat sektöründe ekonomiye olumlu katkılar sağlayacaktır (Azizi, 2007). Deprem kuşağı üzerinde yer alan ülkemizde; yüksek şiddetli, mal ve can kayıplarıyla sonuçlanan depremler meydana gelmektedir. Amerika ve Japonya gibi gelişmiş ülkelerde meydana gelen depremlerin büyük mal ve can kayıplarıyla sonuçlanmamasının nedeni olarak, inşaat teknolojilerindeki gelişmelerin uygulanması ve binalarda perlit, pomza ve gazbeton gibi hafif malzemelerin kullanımının benimsenmesi gösterilmektedir. Bina yükünü önemli oranda azaltmaya yardımcı olan bu malzemeler binaların kendi ağırlıklarıyla ezilmelerini engellemekte ve depremin yıkıcı etkilerini azalmaktadır. Aynı zamanda, depremden dolayı oluşan yatay ve düşey yöndeki şiddetli sarsıntılar perlit ve gazbeton gibi boşluklu malzemeler tarafından emilmekte, sonuç olarak bina sallanmasına rağmen yıkılmamaktadır (Doğan ve Şener, 2004). Ülkemizde perlit madeninin önemi yeterli ölçüde anlaşılamamış olup, bu ürün inşaat sektöründe yeterli oranda kullanılmamaktadır. Perlitin kullanıldığı hafif yapı elemanları ve beton agregaları daha çok modern inşaat teknolojilerinin kullanıldığı yapılarda tercih edilmektedir. İnşaat sektöründe ham perlit ve geliştirilmiş perlit kullanımının teşvik edilmesi sağlanmalıdır. Perlitin, ham veya geliştirilmiş olarak çimento üretiminde kullanılabilirliği üzerine az sayıda çalışma bulunmaktadır. Optimum miktarda kullanımın araştırılması gerekmektedir.

Bu çalışmada, düşük maliyetli ve yerel kaynaklarımızdan biri olan geliştirilmiş perlit agrega olarak kullanılacak olup geri dönüşümde de kullanılabilen cam atıkların köpük beton üretiminde hem agrega yerine hem de çimento ikame malzemesi olarak kullanımı gerçekleştirilecektir.

2. LİTERATÜR İNCELEMESİ

2.1 Beton

Beton, ülkemizde en çok kullanılan yapı malzemelerinden biridir. Spesifik olarak; çimento, doğal veya suni agrega ve önceden belirlenmiş oranda su karışımı oluşturur. Gerekirse bu karışıma önceden belirlenmiş bir oranda kimyasal ve mineral katkı maddeleri ilave edilebilir.

Beton üretimi yapıldıktan sonra iki kısımda incelenir. Bunlardan taze beton; çimento, agrega ve su ile karıştırıldığında kolayca şekil alabilen bir malzemedir. Sertleşmiş beton ise taze beton içerisindeki çimento ve suyun hidratasyonu sonucu plastik özelliğini kaybedip katı hale geçen; günlerle ölçülen bir süre sonra ise sertliği artan yeterince mukavemet kazanmış betondur. Normal şartlarda beton, 28 gün sonra kazanılabilecek son mukavemetinin %60-90'ını kazanır (Akman, 1990).

Yapılarda hafif inşaat malzemelerinin kullanımı; deprem etkisi, ekonomiklik, ısı ve ses izolasyonu, ateşe karşı dayanıklılık, donma-çözülme gibi birçok problemin çözümünde önemli rol oynamıştır (Bingöl ve Gül, 2004).

2.1.1 Köpük Beton

Köpük beton, çimento, su ve özel agregaların karışımından oluşan ve %75-80 oranında birbirinden bağımsız kapalı hava boşlukları içeren gözenekli beton olarak adlandırılır.

1900'lerin başında, inşaat mühendisleri işlenebilirlik ve dayanımı betonun iki ana işlevi olarak görüyorlardı. Ancak işlenebilirlik için çimentoya eklenen suyun artırılması gerekir ki bu da betonun dayanım özelliklerini olumsuz etkiler. Bu nedenle, işlenebilirliği artırmak için bir yöntem aranmıştır. Bu araştırmaların sonucunda betona eklendiğinde gerekli özellikleri sağlayabilecek kimyasal katkılar keşfedildi. Bu katkı maddeleri arasında en çok kullanılan akışkanlaştırıcı ve hava sürükleyici katkı maddeleridir. Bu katkı maddelerinin ana bileşenleri sentetik olarak üretilen sodyum, alkil ve kalsiyum naftalin sülfonattır. Yüzey aşındırıcı olarak da bilinen sülfonatlar,

beton içinde eşit olarak dağılmış küçük hava kabarcıkları oluşturarak işlenebilirliği artırır. Bu projeler, inşaat mühendislerinin çıkmaza girmesine neden olan işlenebilirlik ve güç sorunlarını çözdü (Akman ve Akçay, 2005). Köpüklü beton üretiminde kullanılan malzeme türü, su-çimento oranı, kür süresi ve köpük ajanı miktarı betonun performansı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir (Nambiar ve Ramamurthy, 2008).

Köpük ajanı; düşük yoğunluklu hafif beton üretiminde kullanılan, vinil reçeli ve surfaktan maddeden oluşan koyu renkli bir katkı maddesidir (Akman ve Akçay, 2005). Düşük yoğunluklu hafif beton üretiminde kullanılan köpük ajanı, sodyum, kalsiyum ve alkali metal sülfonatlardan oluşur. Köpük yapıcı maddenin karışım suyuna ilave edilmesinden sonra, mikser ile yüksek devirde karıştırılarak bir köpükleme çözeltisi üretilir. Elde edilen köpük çözeltisi, 400 kg/m^3 ile 1800 kg/m^3 arasında hafif gözenekli beton yapmak için ince agrega, çimento ve su ile karıştırılır. Bu tip betona köpük beton denir (TS EN K 134, 2014).

Köpük beton; gözenekli mikro yapısından dolayı iyi bir ısı yalıtımına sahiptir. Birim ağırlığı 1000 kg/m^3 olan köpüklü betonun ısı iletkenliği, aynı birim ağırlıktaki sıradan betona göre %5-30 daha düşüktür. Birim ağırlığı $600-1600 \text{ kg/m}^3$ olan köpük betonda ısı iletkenlik $1-7 \text{ W/mK}$ arasında değişmektedir, birim ağırlık ne kadar düşükse ısı iletkenlik o kadar düşüktür (Jones ve McCarthy, 2005). 100 kg/m^3 'lük bir birim ağırlık azaltımı, termal iletkenliği $0,04 \text{ W/mK}$ azaltabilir (Weigler ve Karl, 1980).

2.2 Camlar

2.2.1 Camın Tanımı

Cam, periyodik atom dizilimi yakın aralıklı olan, kristalize yapıda olmayan, amorf bir katı madde olarak tanımlanabilir (Shelby, 2005). Yüksek sıcaklıkta bile yüksek viskoziteye sahip, inorganik malzemelerden ve silikat sistemlerden elde edilen seramik malzemedir (Baradan, 2003). Sert ve kırılğan bir yapıya sahiptir. Ancak, bileşenlerini yüksek sıcaklıklarda eriyene kadar ısıtılması ve kristalleşmeden katı hale gelene kadar soğutarak elde edilmesiyle, diğer seramiklerden ayrılmıştır (Smith, 2001). Cam fiziksel olarak katı, belirli bir erime noktası olmayan aşırı soğutulmuş bir

sıvıdır ve kristalleşmeyi önleyecek kadar yüksek bir viskoziteye sahiptir (Baradan, 2003).

Cam; amorf yapıda, yüksek sertlikte, şeffaf, kimyasal faktörlere ve sıcaklık değişikliklerine karşı dirençli, ışığı uygun şekilde kıran ve güneş radyasyonu iletebilen bir malzeme olarak tanımlanabilir. Diğer yandan camın ana malzemesi olan silis (SiO₂), amorf bir gövde içinde eritilip dağıldığından şeffaflığı sağlar (Baradan, 2003).

Cam üretiminde kullanılan formül içerdiği kullanım amacına bağlı olarak içerdiği hammaddelere göre değişmekle birlikte kum, soda ve kireçten oluşmaktadır (Kurkjian ve Prindle, 1998). Gelişen teknoloji ile cam, gerekli fiziksel ve fonksiyonel özelliklere göre birden çok kimyasal bileşim ile üretilebilen bir malzemedir.

2.2.2 Atık Camların Geri Kazanımının Önemi

Dünya nüfusunun hızla artması, teknolojik gelişmeler ve buna paralel olarak tüketimin artması, kullanılabilir kaynakların hızla azalmasına sebep olmaktadır. Buna paralel olarak artan atık malzemeler küresel çapta geri dönüşümünü önemli kılmaktadır. Buna rağmen atıklar geri dönüşüm tesisine ulaştırılmadıkça, ekonomik olarak yararlı kabul edilmez. Ancak geri dönüşümü tek başına ekonomik bir fayda olarak görmek yanlıştır. Geri dönüşümün en önemli avantajı çevre kirliliğini azaltıcı etkiye sahip olmasıdır. Bu nedenle inşaat sektörü, sürdürülebilir kalkınmayı teşvik etmek için birçok konuda araştırma yapmaktadır.

Geri dönüşümün sağladığı avantajlar:

- Çevrenin korunmasına yardımcı olur.
- Daha az doğal madde tüketimi sağlar.
- Geri dönüştürülmüş kaynakların kullanımı daha ekonomiktir.
- Geri dönüşüm malzemeleri ile yeni bir ekonomik değer üretilir.

- Dışarıdan ürün alımını azaltacağı için, ithalat oranını düşürür. Böylece gereksiz ithalat masrafının önüne geçilmiş olur.
- Enerji verimliliğini artırır.

Cam, geri dönüştürülmüş en önemli ürünlerden biridir. Kayba neden olmadan birçok kez geri dönüştürülebilir. Bir ton cam geri dönüşümü 42 kWh enerji, yaklaşık 700 pound (315 kg) karbondioksit emisyonu, 5 galon petrol ve 1,5 metreküp arazi kullanımı tasarrufu sağlıyor (Elektrikport.com, 2019).

2.2.3 Beton Endüstrisinde Atık Camların Kullanılması

Dünya nüfusunun yapısı son yüzyılda sanayi devrimi ile birlikte önemli oranda hem önemli oranda artmış (Elsunousi vd., 2021; Sevik vd, 2019a, 2020a) hem de kentsel alanlarda yoğunlaşmıştır (Kilicoglu vd., 2020; Şen vd., 2018; Zeren Cetin ve Sevik, 2020). Dünya nüfusunun artışı ve kentsel alanlarda yoğunlaşması, birçok sorunu da beraberinde getirmiştir (Cetin vd., 2021; Turkyilmaz vd., 2019; Sevik vd., 2020b; 2020c). Bu sorunların en önemlisi kuşkusuz çevre kirliliğidir (Aricak vd., 2019; Cetin ve Sevik, 2016a; 2016b; Isinkaralar vd., 2022). Kent merkezlerinde daha fazla olmak üzere dünya genelinde hava (Cesur vd., 2021; Isinkaralar, 2020; Turkyilmaz vd., 2018a; 2018b), su (Demir vd., 2021; Tokatli vd., 2021; Uzun Ozel vd., 2019; 2020) ve toprak (Altera vd., 2021; Bayraktar vd., 2019a; 2021a; 2021b) önemli ölçüde kirlenmiştir. Canlı yaşamı açısından son derece önemli olan hava kirliliği her yıl milyonlarca insanın sağlığını tehdit eden hatta ölümüne sebep olan bir sorun haline gelmiştir (Cetin vd., 2019a; 2019b; Ghoma vd., 2022; Key vd., 2021). Hava kirliliği sebebiyle, atmosferin bileşimi de değişmiş ve hava kirliliği küresel iklim değişikliğinin ana aktörlerinden olmuştur (Canturk ve Kulac, 2021; Cetin 2020; Koç, 2021a; 2021b) Küresel sorunların en büyüğü kabul edilen küresel iklim değişikliği yangın (Ertugrul vd . , 2019; 2021), kuraklık (Koc, 2019; Sevik ve Cetin, 2015; Topacoglu vd., 2016a; 2016b; Yigit vd., 2016a), radyasyon ve UV-B artışı (Ozel vd . , 2021a; 2021b), tür ve popülasyon kayıpları (Koç vd., 2021; Ozkazanc vd . , 2019; Varol vd . , 2021a; Yucesdag vd., 2019) gibi problemleri de beraberinde getirmiş ve dünya ekosisteminde

yıkıcı sonuçlara sebep olmuştur. Bu sorunun daha da büyüyeceği tahmin edilmektedir (Varol vd., 2022).

Çevre kirliliği ekosistem üzerinde doğrudan veya dolaylı olarak yıkıcı sonuçlara sebep olmaktadır (Arıcak vd., 2020; Cetin vd., 2021; Çobanoğlu ve Şevik., 2021a; 2021b; Koç, 2021b). Çünkü canlıların bütün fenotipik karakterleri genetik yapıları (Hrivnak vd., 2017; Sevik, 2012; Turna vd., 2009; 2010; Yigit vd., 2018) ile iklimatik (Cetin vd., 2018a; 2018b; 2021; Koç, 2021d, 2021e, 2021f; Yigit vd., 2019) ve edafik (Kalayci Onac vd., 2021; Kravkaz Kuscı vd., 2018a; 2018b; Yigit vd., 2014;) gibi çevre faktörlerinin (Koç ve Nzokou, 2018; 2022; Sevik vd., 2019b; Varol vd., 2021b;) etkileşimine bağlı olarak şekillenmektedir (Ozel vd., 2021c, 2021d; Sevik vd., 2021). Çevre kirliliği de çevre koşullarını değiştirdiğinden canlı gelişimini önemli ölçüde ve genellikle olumsuz yönde etkilemektedir (Ozel vd., 2021e; 2021f; Savas vd., 2021;). Çünkü çevre kirliliği canlılar için bir stres etmenidir (Isinkaralar ve Erdem, 2021a; 2021b; Karacocuk vd., 2022) ve stres etmenleri de bitki gelişimini olumsuz yönde etkilemektedirler (Sevik ve Ertürk, 2015; Sevik ve Karaca, 2016; Shults vd., 2020; Turkyilmaz vd., 2018c; 2020). Sanayide hammadde olarak ihtiyaç duyulan elementlerin yataklarından çıkartılarak doğaya salınımı sonucunda çevre kirliliği önemli ölçüde artmaktadır (Şevik vd., 2021; Turkyilmaz vd., 2020).

Sanayi faaliyetlerinin belirli bölgelerde sosyal ve ekonomik imkanları artırmasına bağlı olarak nüfusun belirli alanlarda yoğunlaşması, bu alanlarda yeni yerleşim alanlarına ve dolayısıyla yeni konutlara olan ihtiyacı artırmaktadır (Bayraktar 2020a; 2020b; 2020c; Kilicoglu vd., 2021). Bu durum günümüzde binaların büyük oranda beton kullanılması (Bayraktar vd., 2021c; 2021d; Gencel vd., 2021a; 2021b; Kaplan vd., 2021a; 2021b). Dolayısıyla büyük oranda beton kullanımını zorunlu kılmaktadır (Alterra vd., 2019; Bayraktar 2021a; 2021b; Gencel vd., 2021c). Beton içerisinde atık malzemelerin kullanılması çevre kirliliğinin azaltılmasına, maliyetin düşürülmesine ve doğal kaynaklar üzerindeki baskının azaltılmasına sebep olmaktadır (Gencel vd., 2022v; Kaplan vd., 2021c; 2021d; 2021e). Atık malzemelerin beton içerisinde kullanımı çevresel kirliliği azaltırken (Bayraktar vd., 2019c; 2019d; 2019e; Bayraktar ve Kaplan, 2021a; 2021b; 2020d; Gencel vd., 2022) aynı zamanda tükenmekte olan doğal kaynaklar üzerindeki baskıyı da azaltmaktadır. İnşaat sektörü, dünyada

hammaddeye ihtiyaç duyan ana sektörlerden biridir. Kaynak kıtlığı olan bir dünyada, geri dönüşüm uygulamalarının da potansiyel bir hammadde kaynağı olduğu unutulmamalıdır (Bayraktar, 2019; 2020; Bayraktar vd., 2021e; 2021f; Gürer vd., 2004).

Özellikle Amerika Birleşik Devletleri'nde cam atıkları beton duvarlar, asfalt kaplamalar, kaldırım taşları, estetik amaçlı dış duvar elemanları, prefabrik duvar panelleri, zeminler ve duvar karoları için kullanılabilir. Ayrıca camın betonda kullanımına ilişkin çeşitli çalışmalar yapılmıştır (Meyer vd. , 2001). Agregada sanayinde kullanılan temel teknikler uygulanarak betona uygun temiz cam agregaları üretilir. Camın iri agregada olarak kullanılmasının betonun mekanik özelliklerini etkilemesi beklenmektedir. Betonun mukavemetinin, çimento hamuru ile agregada arasındaki aderans dayanımı tarafından kontrol edildiği bilinmektedir. Nispeten pürüzlü yüzey dokularına sahip doğal agregalar yerine pürüzsüz yüzeyli cam parçalarının kullanılması, mukavemet kaybına neden olabilir ve betonda zaten düşük olan sünekliği daha da azaltabilir (Meyer vd., 2001).

Agregada olarak cam kullanımıyla ilgili bir başka çalışmada, %0; %10; %25; %50 ve %100 oranında atık şişe cam agregası ince agregada, iri agregada ve hem ince agregada hem iri agregada kullanılmış, örnekler 20; 60; 150; 300; 500 ve 700°C'lik sıcaklıklara maruz bırakıldıktan sonra oda sıcaklığına soğutulmuş ve basınç dayanımı test edilmiştir. Özellikle, %10 oranda cam içeren tüm numuneler, 150°C ve daha yüksek bir sıcaklık seviyesinde kontrol karışımından daha iyi performans göstermiştir (Terro, 2006).

Beton endüstrisinde kullanılan puzolanik maddelerin yeterli aktiviteyi gösterebilmesi için, yeterince ince taneli olması, amorf yapıya sahip olması ve yeterli oranda silis, alümin ve demir oksit içermesi gerekmektedir (Erdoğan, 2003). Camın yeterli incelikte öğütülmesi halinde yukarıda belirtilen standartları karşılayacağı ve betonda ek bir bağlayıcı malzeme olarak belirli oranda çimentonun yerini alabileceği düşünülebilir.

2.3 Genleştirilmiş Perlit

Isıyla birlikte genleşme özelliği olan ÷lkemizin volkanik kayacı bölgelerde bulunan perlit kayacı, 800-1200°C arasında yüksek sıcaklıklara maruz bırakıldığında, bünyesindeki su buharlaşır ve bunun sonucunda patlayarak tane hacminin 35 katına kadar büyür, ergime noktası 1300°C yoğunluğu 32-200 kg/m³ arasında değişmekte olan düşük yoğunluklu bu yeni ürüne genleştirilmiş perlit denir (Engin, 2018; Öztürk, 2012; Ultraper, 2020). Perlitin rengi ve yapısal özellikleri değişiklik gösterebilir. Perlitin rengi şeffaf açık griden parlak siyaha kadar değişebilir. Genişletildiğinde renk tamamen beyaz olur.

Genleştirilmiş perlitin fiziksel özellikleri (Çiçek, 2002);

- Isı iletkenlik değeri $\lambda=0,40-0,45$ W/mK'dir.
- Erime sıcaklığı 1200-1400°C'dir.
- Yoğunluk: 50-110 kg/m³.
- Tane kalınlığı 0-3,6 mm arasındadır.
- Su emmesi yüksektir.

3. MATERYAL VE METOD

3.1 Materyal

3.1.1 Çimento

Yapılan çalışmalarda, beton karışımında Bartın Çimento Fabrikası'ndan temin edilen kimyasal ve fiziksel özellikleri Tablo 3.1'de verilen, TS EN 197-1 standardına uygun CEM I 42,5 R Portland çimentosu kullanılmıştır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1 Çimento

Tablo 3.1 CEM I 42.5 R çimentosunun kimyasal ve fiziksel özellikleri

Kimyasal özellikler (%)		Fiziksel özellikler	
CaO	63,35	Priz Başlangıç Süresi (dk.)	105
SiO ₂	19,12	Priz Sonu Süresi (dk.)	189
Al ₂ O ₃	5,98	Özgül Yüzey (cm ² /g)	3634
Fe ₂ O ₃	3,06	Özgül Ağırlık (g/cm ³)	3,1
MgO	1,89	Genleşme (mm)	1,0
SO ₃	2,74	Su İhtiyacı (%)	27,2
Na ₂ O	0,58		
K ₂ O	0,88		
Cl-	0,0089		
Kızdırma Kaybı	0,5		

3.1.2 Agregası

Bu çalışmada geliştirilmiş perlit hafif beton agregası olarak kullanılmıştır (Şekil 3.2).



Şekil 3.2 Genleştirilmiş Perlit

Tablo 3.2 Genleştirilmiş perlite ait teknik bilgiler (Ultrapar, 2020)

Yoğunluk(g/cm ³)	Su emme	Yumuşama Noktası (°C)	pH değeri (pH)
0,032 – 0,18	200 – 600	871 – 1093	6,8

3.1.3 Karışım Suyu

Karışımın üretimi ve kürlenme sürecinde Kastamonu Üniversitesi kampüsündeki içilebilir nitelikte, betona zararlı olabilecek organik madde ihtiva etmeyen ve sıcaklığı 20±5°C sıcaklığında TS-EN 1008 standartlarına uygun şebeke suyu kullanılmıştır. Karışım ve kür de kullanılan suyun özellikleri Tablo 3.3’de verilmiştir.

Tablo 3.3 Karışım ve kür de kullanılan suyun özellikleri

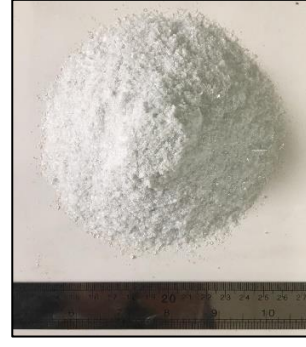
Analizler	Deney Sonuçları	Limit Değerler
Koku	Yok	Yok
Amonyum (mg/L)	0,02	
İletkenlik (mS/cm)	<2500	0- 2500 (TS 97, 2019)
Ph	7,93	

3.1.4 Atık Cam Agregası ve Tozu

Çalışmada beton karışımı için temin edilen agrega olarak kullanılan renksiz atık pencere camları konkasör ile kırılarak kullanılmıştır. Bağlayıcı olarak kullanılan renksiz atık pencere camları bilyalı değirmende 10 dk öğütülerek elde edilmiştir. (Şekil 3.3; Şekil 3.4).



Şekil 3. 3 Agregacı camı



Şekil 3. 4 Bağlayıcı camı

3.1.5 Köpük Ajanı

Köpük ajanı; köpürme ve sentetik hava sürükleyici özelliklerine sahip olan vinilik reçine, kalsiyum, alkali ve sodyum naftalin sülfonattan oluşur. Bu bileşenler sentetik olarak üretilir. Bu katkı maddeleri beton karışım suyu ile karıştırılır veya su ile ayrı olarak karıştırılarak köpük oluşturulur (Akman ve Akçay, 2005). Şekil 3.5’de köpük ajanı gösterilmiştir.



Şekil 3. 5 Köpük ajanı

3.2 Köpük Betonların Üretimi

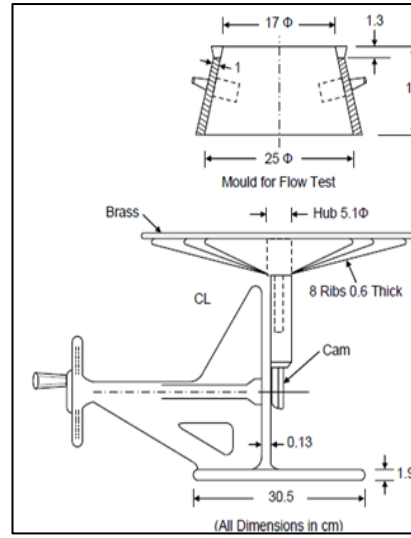
Numuneler Kastamonu Üniversitesi MYO İnşaat Atölyesinde hazırlanmıştır. Atık camların agrega olarak geliştirilmiş perlit agreganın yerine %0; %30; %50; %70; %100 oranlarında hem de bağlayıcı olarak çimento içerisine %0; %6,25; %12,5; %25; %50 oranlarında ikame edilmesi ve 2 farklı köpük miktarı değişken olarak alınarak toplamda 20 seri köpük beton üretimi yapılmıştır. Bunlardan 12 adet 40*40*160 mm numune basınç dayanımı için, 3 adet 25*25*285 mm numune kuruma büzülmesi için, deney olarak 3 adet 50*50*50 mm numune fiziksel özellikler ve kapilerite için, 200°C,

400°C, 600°C ve 800°C için 3 adet hava soğutma ve 3 adet su soğutma olmak üzere toplamda 6 adet sıcaklık etkisi göz önüne alınarak 12 adet numune, 20 ve 40 döngü donma çözülme için her gruptan 3'er adetten 4 numune, 3 adet 25*25*285 mm numune ASR için, 1'er adet 20*30*50 mm numune ısı iletkenlik için dökülmüştür.

3.3 Deneysel Çalışma

3.3.1 Yayılma

Numunelerin taze hal özellikleri olarak yayılma çapları ASTM C1437 standardına uygun ölçülmüştür. Malzeme miktarlarına göre hazırlanan harçların yayılma çapları X ve Y doğrultusunda ölçülerek ortalama bir değer tespit edilmiştir. Numunelerin yayılma çapını belirlemek için kullanılan yayılma tablasının şematik görünüşü Şekil 3.6'da verilmiştir.



Şekil 3.6 Yayılma tablasının şematik görünüşü

3.3.2 Fiziksel Özellikler

3.3.2.1 Su emme, porozite ve birim hacim ağırlık deneyleri

90 gün boyunca su küründe bekleyen 50*50*50 mm boyutundaki küp numunelerinin su içerisindeki ağırlığı Arşimet terazisi yöntemi ile ASTM C642 standardına uygun ölçülmüştür. Ardından DKY elde edilip hassas terazi ile ağırlığı ölçülmüştür. Tartımı yapılan numuneler 3 gün boyunca 50°C (±5°C) etüvde bekletilerek etüv kurusu ağırlığı ölçülmüştür. Etüv kurusu ağırlığa sahip numunelerin yan yüzeyleri likit su yalıtım malzemesi (su-tut) ile fırça yardımıyla kaplanarak yalıtılmıştır. Kaplanan numune tabandan suyu emmesi için 5 mm yüksekliğinde bir aparata yerleştirilmiştir. Kapiler su emme testi, ASTM C1585 standardına göre belirli bir zaman aralığında 28. güne kadar tabandan su işleme derinlikleri ölçülmüştür.

3.3.3 Mekanik Özellikler

Bu çalışmada geliştirilmiş perlit ve atık cam kullanılarak 40*40*160 mm boyutlu prizma kalıplarda üretilen köpük betonların mekanik özellikleri olarak basınç ve eğilme dayanımları belirlenmiştir. Başlangıçta numunelerin 3'er adedinin eğilme dayanımı (3 noktalı) ASTM C348 standardına göre aritmetik ortalaması alınarak belirlenmiş daha sonrasında numuneler üzerinde basınç dayanımı deneyi ASTM C349'a göre gerçekleştirilmiştir. Eğilme dayanımı hesabında Denklem 3.1 bağıntısından yararlanılmıştır.

$$\sigma_e = 3.F.L/2b.d^2 \quad (3.1)$$

σ_e : Eğilme dayanımı (3 Nokta) (MPa)

F: Kırılma yükü (kN)

L: Mesnetler arasındaki mesafesi (mm)

b: Numunenin genişliği (mm)

d: Numunenin kalınlığı (mm)

3.3.4 Kuruma Büzülmesi

Kuruma büzülmesi özellikleri ASTM C596 standardına göre 7 gün boyunca su küründe bekleyen 25*25*285 mm boyutlu numune çubuklarında DKY elde edilip başlangıç boyları ölçülmüş ve daha sonrasında açık havada bekletilerek doğal kurumaya tabi tutulmuştur. Kuruma büzülmesi davranışı 3. gün ilk ölçümü yapıldıktan sonra 28 gün boyunca her 7 günde bir ölçülmüş ve sonrasında 42; 56; 91 ve 120. gün ölçümleri yapılmıştır. Numunelerin kuruma büzülmesi Şekil 3.7’de yer alan dijital komparatör ile ölçülmüştür.



Şekil 3.7 Kuruma büzülmesinin komparatör ile ölçümü

3.3.5 Yüksek Sıcaklık Etkisinin Belirlenmesi

Kür havuzunda 90 gün bekletilen numuneler, işlem sonunda çıkarıldı. Yüksek sıcaklık deneyine başlanmadan önce betonun yapısında bulunan su ve su buharının basınç ile betonu çatlatmasını önlemek için numuneler 105°C’de 24 saat bekletilerek beton içerisinde bulunan suyun buharlaşması sağlandı. 200°C, 400°C, 600°C ve 800°C’de yapılan deneyler için agrega yerine %0; %30; %50; %70 ve %100 oranlarındaki ikameleri ve bağlayıcı olarak %0; %6,25; %12,5; %25 ve %50 oranlı ikameleri %50 ve %100 köpük miktarlı deney gruplarından toplam 20 seriden 60 adet 40*40*160 mm’lik numune hazırlandı ve 10°C/dak ısınma hızı olan yüksek sıcaklık fırınında 200°C, 400°C, 600°C ve 800°C’de 2 saat bırakıldı. Deneyin sonunda numune hava soğutma için 24 saat oda sıcaklığında bekletilerek, su soğutma için ise itfaiyeleme metodu ile su ile temas ettirilerek soğutulduktan sonra 24 saat oda sıcaklığında

bekletilen numunelerin birim ağırlık, ultrases geçiş hızı, eğilme dayanımı ve basınç dayanımı değerleri ölçüldü.

3.3.6 Donma Çözülme Deneyi

Bu çalışmada, genişletilmiş perlit ve geri dönüştürülmüş cam agregaları kullanılarak üretilen beton numunelerinin ASTM C666'ya göre donma-çözülme direnci ölçülmüştür. Dondurma-çözdürme deneyinden önce, her numune 3 gün süreyle suda bekletilerek suya doymun hale getirildi ve ardından dondurma-çözdürme deneyinde, her numune -20°C'de 5 saat süreyle donma ve sonra 7 saat +5°C'de çözülmeye bırakıldı. Dondurma ve çözme periyodu 20 ve 40 döngü tekrarlı tamamlandı. Döngüleri tamamlanan numunelerin birim ağırlık, ultrases geçiş hızı, eğilme dayanımı ve basınç dayanımı değerleri ölçüldü.

3.3.7 Ultrases Geçiş Hızı Deneyi

Bir malzemedeki ses dalgalarının hızı, malzemenin yoğunluğuna bağlıdır. Yüksek yoğunluklu malzemeler sesi daha hızlı iletirken, düşük yoğunluklu malzemeler sesi daha yavaş iletir. Bu tez çalışmasında test cihazı ile numune arasındaki hava boşluğunu ortadan kaldırmak için numune yüzeyi ultrasonik jel ile yağlanmıştır ve test düz bir yüzey üzerinde gerçekleştirilmiştir. ASTM C597-02 standardına göre ultrases geçiş hızı ultrases cihazı yardımıyla numunenin üzerinden geçirilirken ultrases geçiş süresi μs cinsinden 10^{-6} saniyelik bir doğrulukla ölçüldü. Numune boyutunun zamana oranlanması alınarak hız km/s cinsinden bulunmuştur.

3.3.8 ASR Deneyi

Her karışımı temsil eden 25*25*285 mm boyutlarındaki üçer numunenin 120 gün boyunca ASTM C1260-07 standardına göre genleşmeleri incelenmiştir. Kalıptan çıkarılan numuneler 7 gün boyunca su küründe bekletilmiştir ve başlangıç boyu 0,001 mm hassasiyetle ölçüldü. Daha sonra NaOH solüsyonu içeren 80°C suda bekletilen numunelerin boy ölçümleri 3. gün ilk ölçümü yapılarak 28 gün boyunca her 7 günde bir ölçülmüştür. Sonrasında 56.; 90. ve 120. Günlerde ölçümü yapıldı.

3.3.9 Isıl İletkenlik Deneyi

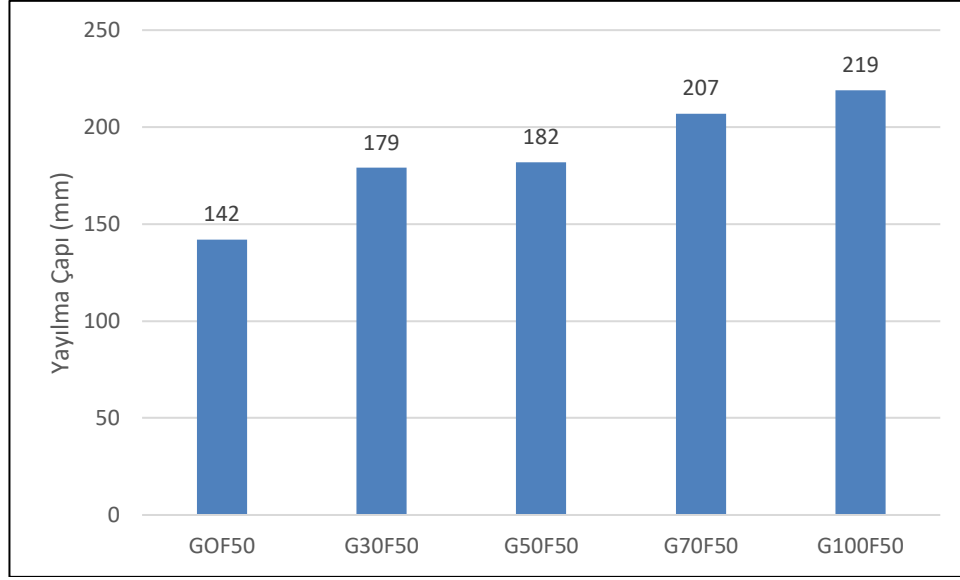
ASTM D7984-16 standardına göre bu çalışma kapsamında üretilen beton numunelerinin ısı iletkenliği, ısı iletkenlik ölçüm cihazı ile belirlenmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

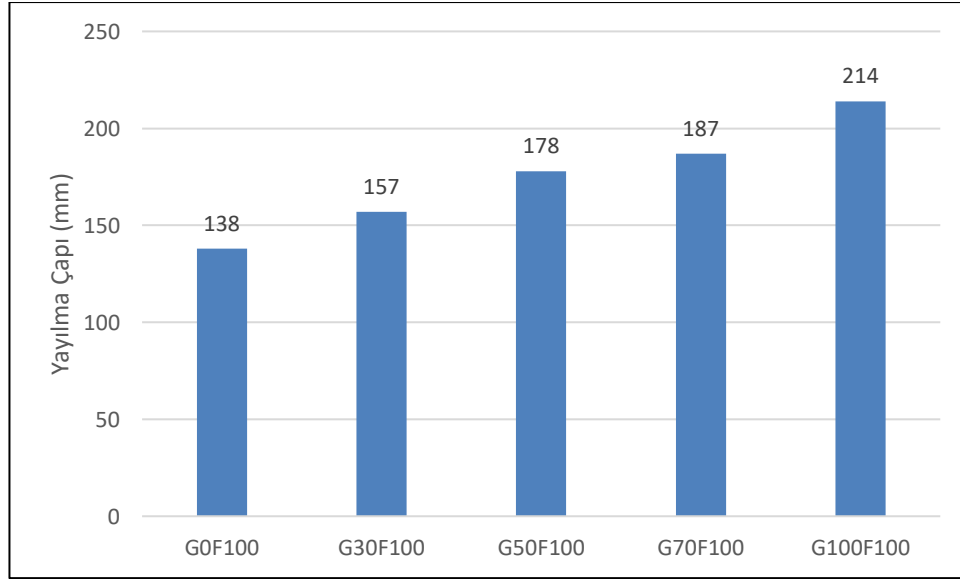
4.1 Taze Hal Özellikleri ve Birim Hacim Ağırlık

50 kg/m³ ve 100 kg/m³ köpük içeren numunelerin taze haldeki yayılma çapları Şekil 4.1a-b'de gösterilmiştir. Şekil 4.1a-b'de tüm köpük içerikleri kendi içerilerinde incelendiğinde cam agregası oranı arttıkça yayılma çapının arttığı gözlemlenmiştir. Buradan cam agregasının işlenebilirliği artırdığı görülmüştür. Şekil 4.1a'da içeriğinde 50 kg/m³ köpük olan karışımlar incelendiğinde cam agregası oranı %0 olan G0F50 numunesi referans alındığında cam agregası içeriği %30 olan karışımın yayılma çapı %26,05 arttığı, cam agregası içeriği %50 olan karışımın yayılma çapı %28,17 arttığı, cam agregası içeriği %70 olan karışımın yayılma çapı %45,77 arttığı ve cam agregası içeriği %100 olan karışımın yayılma çapı %54,22 arttığı gözlemlenmiştir. Şekil 4.1b'de içeriğinde 100 kg/m³ köpük olan karışımlar incelendiğinde cam agregası oranı %0 olan G0F100 numunesi referans alındığında cam agregası içeriği %30 olan karışımın yayılma çapı %13,77 arttığı, cam agregası içeriği %50 olan karışımın yayılma çapı %28,98 arttığı, cam agregası içeriği %70 olan karışımın yayılma çapı %35,51 arttığı ve cam agregası içeriği %100 olan karışımın yayılma çapı %55,07 arttığı gözlemlenmiştir.

İçeriğinde 50 kg/m³ köpük olan karışımlar içinde en yüksek yayılma çapını %100 cam agregası içeren G100F50 numunesinde 219 mm olarak elde edilmiştir. İçeriğinde 100 kg/m³ köpük olan karışımlar içinde en yüksek yayılma çapını %100 cam agregası içeren G100F100 numunesinde 214 mm olarak elde edilmiştir. %100 cam agregası içeren 50 kg/m³ ve 100 kg/m³ köpük katkılı karışımlar, %100 genleştirilmiş perlit içeren karışımlara göre yaklaşık %55 daha yüksek akışkanlık sergilemiştir. Belirli bir köpük içeriği için cam agregası ilavesinin karışımın akışkanlığını artırdığı Şekil 4.1a-b'de görülebilir. Ek olarak, cam agregası içeriğindeki bir artış belirli bir köpük oranı içeriğinde karışımların akışkanlığında artışa yol açmıştır. Belirli bir cam agregası içeriği için 50 kg/m³ ve 100 kg/m³ köpük ajanı içeriğindeki artışın karışımın akışkanlığında yaklaşık %6 azalmaya neden olduğu Şekil 4.1a-b'de de görülebilir.



a)



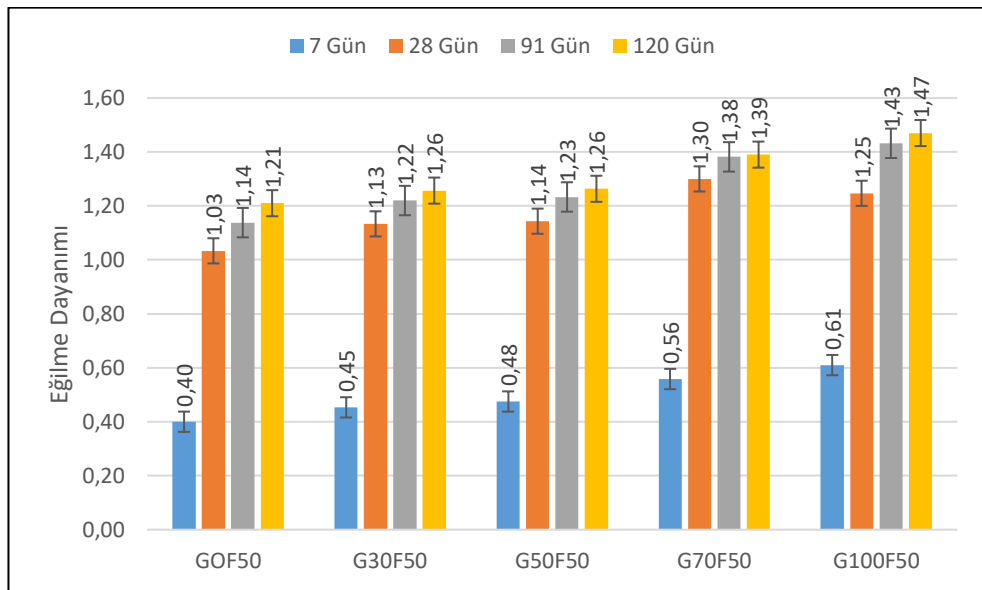
b)

Şekil 4.1 Taze hal yayılma sonuçları a) Köpük oranı 50 kg/m³ b) Köpük oranı 100 kg/m³

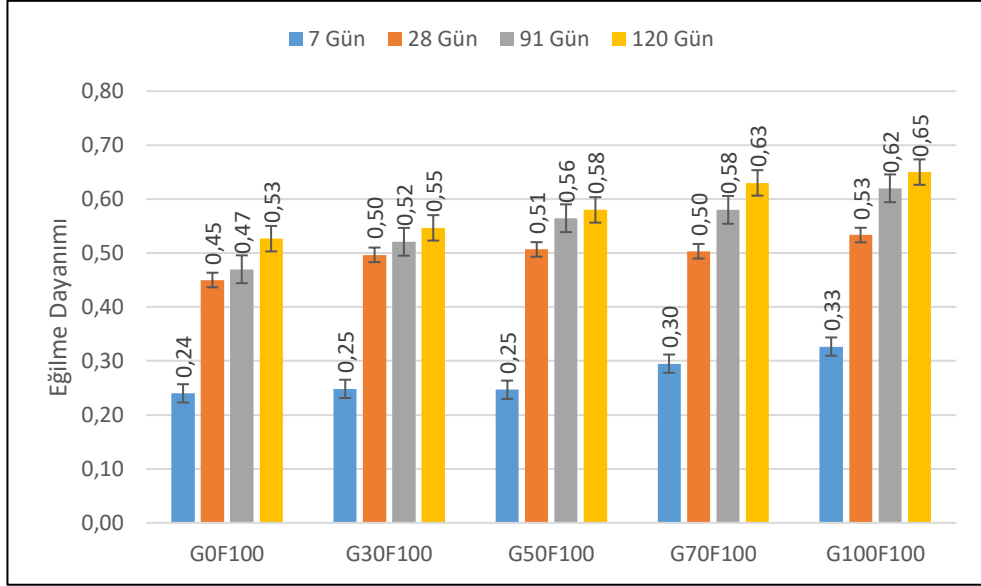
4.2 Eğilme Dayanımı

Genleştirilmiş perlit ve cam agregalı, 50 kg/m³ ve 100 kg/m³ köpük içeren numunelerin 7, 28, 91 ve 120 gün eğilme dayanımı sonuçları Şekil 4.2a-b'de verilmiştir. Numunelerin eğilme dayanımı, artan köpük oranı nedeniyle azalmıştır. Sonuçlar, eğilme dayanımının büyük ölçüde köpük oranına ve agrega içeriğine bağlı olduğunu göstermiştir. Yüksek cam agrega içeriği ve düşük köpük oranı ile daha yüksek eğilme dayanımı elde edilmiştir. Karışımlar erken yaşta düşük eğilme

dayanımı sergilemiştir. Şekil 4.2a'ya göre, numunelerin içerisinde 7, 28, 91 ve 120 günlük en düşük eğilme dayanımına sahip numune sırasıyla 0,40; 1,03; 1,14 ve 1.21 MPa değeri ile G0F50 numunesidir. 28 günlük kürelemeden sonra, tüm karışımlar 7. günden daha yüksek eğilme dayanımı ortaya koymuştur. Cam agrega ikame oranının yükselmesinin, 7 günlük eğilme dayanımlarında %12,5-52,5 arasında, 28 günlük eğilme dayanımlarında %9,7-26,2 arasında, 91 günlük eğilme dayanımlarında %7-25,4 arasında ve 120 günlük eğilme dayanımlarında %4,1-21,4 arasında bir yükselişe neden olmuştur. Bu aynı köpük oranına sahip, yüksek cam agrega oranı içeren karışımların daha iyi performans gösterdiği anlamına gelebilir. Şekil 4.2b'de %100 köpük içeren beton numunelerin eğilme dayanımı sonuçları gösterilmektedir. Yüksek köpük oranının, daha boşluklu bir yapı oluşturması nedeniyle düşük köpük oranlı karışımlara göre daha düşük eğilme dayanımı elde edilmiştir. 7, 28, 91 ve 120 günlük en düşük eğilme dayanımına sahip numune sırasıyla 0,24; 0,45; 0,47 ve 0,53 MPa değeri ile G0F5100 numunesidir. Cam agrega ikame oranının yükselmesinin, 7 günlük eğilme dayanımlarında %4,1-37,5 arasında, 28 günlük eğilme dayanımlarında %11,1-17,7 arasında, 90 günlük eğilme dayanımlarında %10,6-31,9 arasında ve 120 günlük eğilme dayanımlarında %3,7-22,6 arasında bir yükselişe neden olmuştur. Şekil 4.2a ve Şekil 4.2b incelendiğinde agrega oranı aynı numunelerde köpük içeriği arttıkça eğilme dayanımı azalmıştır.



a)

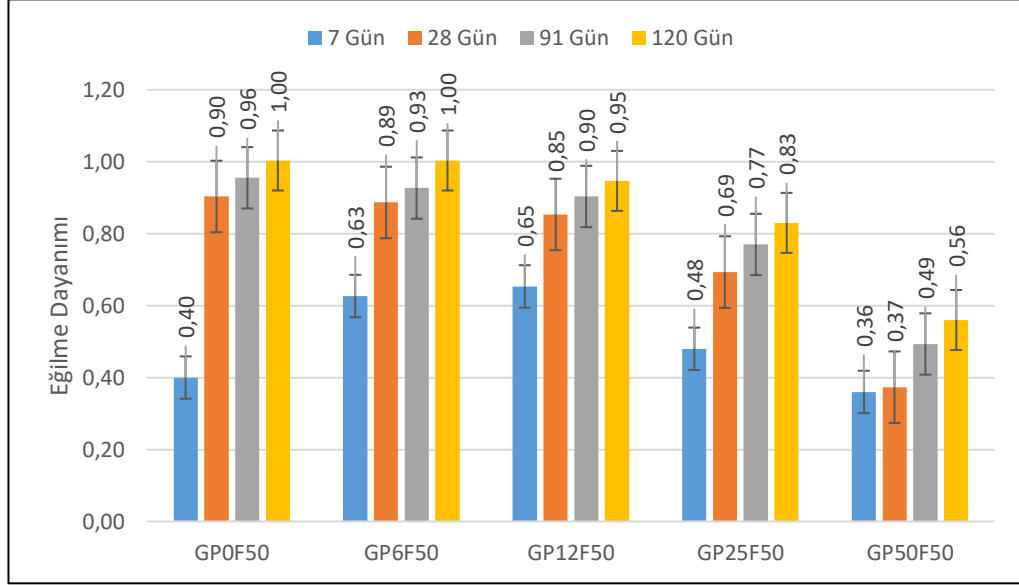


b)

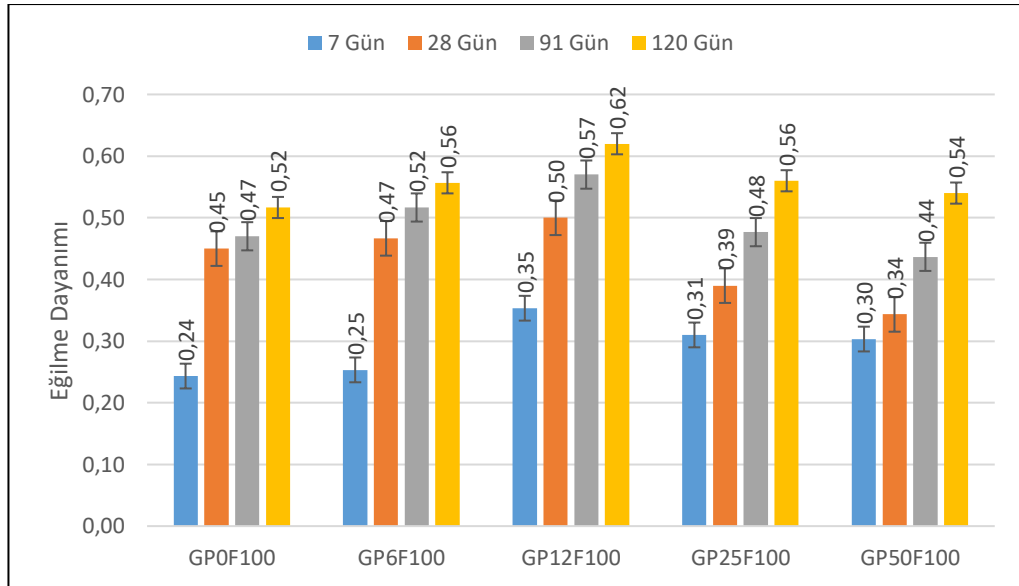
Şekil 4.2 Cam agregalı karışımların eğilme dayanımı a) Köpük oranı 50 kg/m³ b) Köpük oranı 100 kg/m³

Şekil 4.3a-b'de çimento yerine cam tozu ikame edilmiş 50 kg/m³ ve 100 kg/m³ köpük içeren numunelerin 7, 28, 91 ve 120 gün eğilme dayanımı sonuçları verilmiştir. 50 kg/m³ ve 100 kg/m³ köpük içeren numunelerin eğilme dayanımları karşılaştırıldığında artan köpük oranı nedeniyle eğilme dayanımı azaldığı gözlemlenmiştir. Sonuçlar, eğilme dayanımının büyük ölçüde köpük oranına bağlı olduğunu göstermiştir. Karışımlar erken yaşta düşük eğilme dayanımı sergilemiştir. Şekil 4.3a'ya göre, 50 kg/m³ köpük içeren numunelerin içerisinde 7, 28, 91 ve 120 günlük en düşük eğilme dayanımına sahip numune sırasıyla 0,36; 0,37; 0,49 ve 0,56 MPa değeri ile GP50F50 numunesidir. 28 günlük kürlemeden sonra, tüm karışımlar 7. günden daha yüksek eğilme dayanımı ortaya koymuştur. Cam tozu ikame oranının yükselmesinin, 7 günlük eğilme dayanımlarında cam tozu ikame oranının %6,25 olan karışımda %57,5; %12,5 olan karışımda %62,5, %25 olan karışımda %20 arttığı ve cam tozu ikame oranının %50 olan karışımda %10 azaldığı gözlemlenmiştir. 28 günlük eğilme dayanımlarında %1,11-58,88 arasında, 91 günlük eğilme dayanımlarında %3,12-49,96 arasında ve 120 günlük eğilme dayanımlarında %5-44 arasında azalma gözlemlenmiştir. 7. günde nihai dayanımını alamadığı için net bir değerlendirme görülemedi. 28. günden sonra nihai dayanımını kazanan numunelerde cam tozu ikame oranı arttıkça eğilme dayanımının azaldığı gözlemlenmiştir. Şekil 4.3b'ye göre, 100 kg/m³ köpük içeren numunelerin içerisinde 7, 28, 91 ve 120 günlük en yüksek eğilme dayanımına sahip

numune sırasıyla 0,35; 0,50; 0,57 ve 0,62 MPa değeri ile GP12F100 numunesidir. Nihai dayanımını 7, 28, 91 ve 120 günde alamadığı için net bir değerlendirme görülemez.



a)

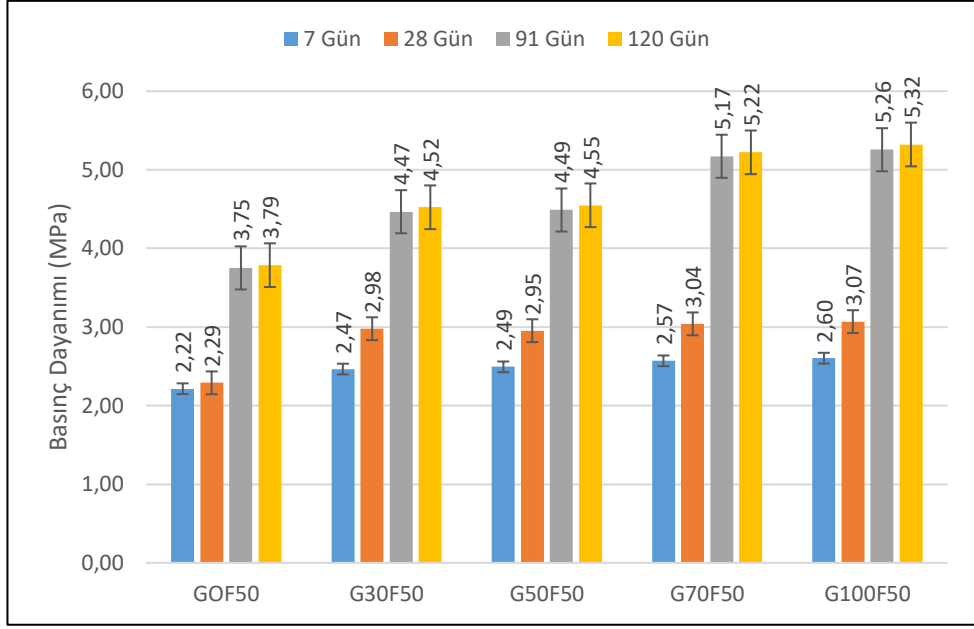


b)

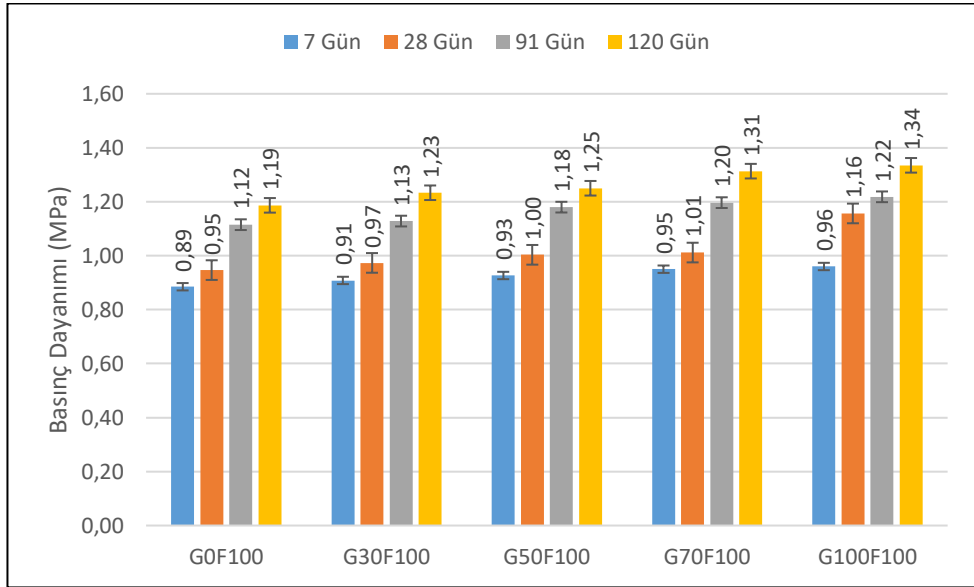
Şekil 4. 3 Cam bağlayıcı karışımların eğilme dayanımı a) Köpük oranı 50 kg/m³ b) Köpük oranı 100 kg/m³

4.3 Basınç Dayanımı

Genleştirilmiş perlit ve cam agregalı, 50 kg/m³ ve 100 kg/m³ köpük içeren numunelerin 7, 28, 91 ve 120 gün basınç dayanımı sonuçları Şekil 4.4a-b'de verilmiştir. Sonuçlar, basınç dayanımının büyük ölçüde agrega içeriğine ve köpük oranına bağlı olduğunu göstermiştir ve karışımlar erken yaşta düşük basınç dayanımı sergilemiştir. Yüksek cam agrega içeriği ve düşük köpük oranı ile en yüksek basınç dayanımını 5.32 MPa ile 50 kg/m³ köpük içeriğinde %100 cam agrega içeren G100F50 numunesinden elde edilmiştir. Şekil 4.4a'ya göre, 50 kg/m³ köpük içeriği ve cam agrega oranı %0 olan numune referans alındığında cam agrega ikame oranının yükselmesinin, 7 günlük basınç dayanımlarında %11,26-17,12 arasında, 28 günlük basınç dayanımlarında %30,13-34,06 arasında, 91 günlük basınç dayanımlarında %19,20-40,26 arasında ve 120 günlük basınç dayanımlarında %19,26-40,37 arasında bir yükselişe neden olduğu gözlemlenmiştir. Şekil 4.3b'ye göre, 100 kg/m³ köpük içeriği ve cam agrega oranı %0 olan numune referans alındığında cam agrega ikame oranının yükselmesinin, 7 günlük basınç dayanımlarında %2,25-7,86 arasında, 28 günlük basınç dayanımlarında %2,10-22,10 arasında, 91 günlük basınç dayanımlarında %0,89-8,93 arasında ve 120 günlük basınç dayanımlarında %3,36-12,60 arasında bir yükselişe neden olduğu gözlemlenmiştir. Bu aynı köpük oranına sahip, yüksek cam agrega oranı içeren karışımların daha iyi performans gösterdiği anlamına gelebilir. Şekil 4.4a ve şekil 4.4b karşılaştırıldığında numunelerin basınç dayanımı, artan köpük oranı nedeniyle azalmıştır bu da köpük miktarı arttıkça betonda artan boşluk yapısı ile açıklanabilir.



a)

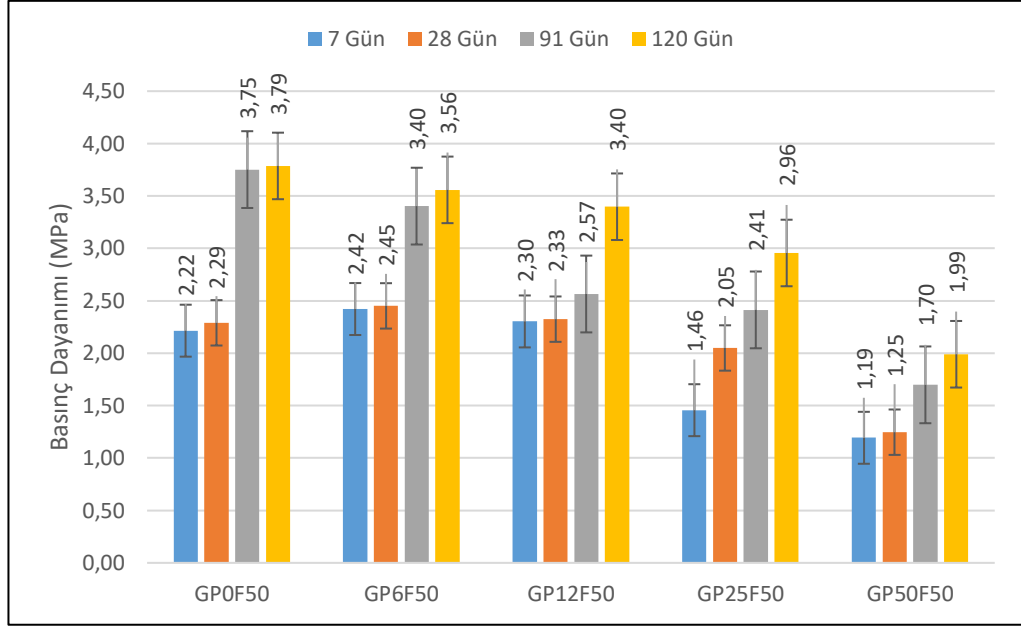


b)

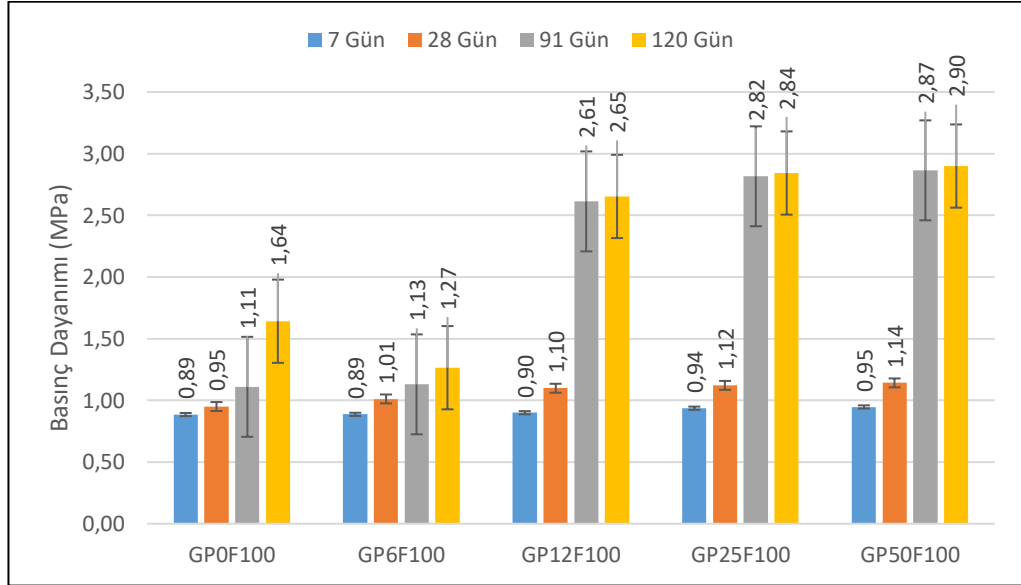
Şekil 4.4 Cam agregalı karışımların basınç dayanımı a) Köpük oranı 50 kg/m³ b) Köpük oranı 100 kg/m³

Şekil 4.5a-b'de çimento yerine cam tozu ikame edilmiş 50 kg/m³ ve 100 kg/m³ köpük içeren numunelerin 7, 28, 91 ve 120 gün basınç dayanımı sonuçları verilmiştir. Şekil 4.5a'da sonuçlar incelendiğinde numuneler 7. ve 28. günde nihai dayanımını almadığı için net bir değerlendirme görülememiştir. 91. ve 128. günde nihai dayanımını alan numuneler için GP0F50 referans olarak alındığında cam tozu ikamesi oranının artması

91 günlük basınç dayanımlarında %9,33-54,66 arasında, 120 günlük basınç dayanımlarında %6,06-47,49 arasında bir düşüşe neden olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum ileriki yaşta belli oranda telafi edilmiştir ve cam tozu ikame oranının artması betonun basınç dayanımını düşürdüğü anlamına gelebilir. Şekil 4.5b incelendiğinde, 100 kg/m³ köpük içeriği ve cam tozu oranı %0 olan numune referans alındığında cam tozu ikame oranının yükselmesinin, 7 günlük basınç dayanımlarında %0-6,74 arasında, 28 günlük basınç dayanımlarında %6,31-20 arasında, 91 günlük basınç dayanımlarında %1,80-158,56 arasında bir yükseliş ve 120 günlük basınç dayanımında GP6F100 numunesinde %22,56 oranında düşüş diğer numunelerde cam tozu oranı arttıkça sırasıyla %6,09 ve %76,83 oranında yükselişe neden olduğu gözlemlenmiştir. 100 kg/m³ köpük içeriğinde, cam tozu oranı arttıkça basınç dayanımının arttığı söylenebilir.



a)

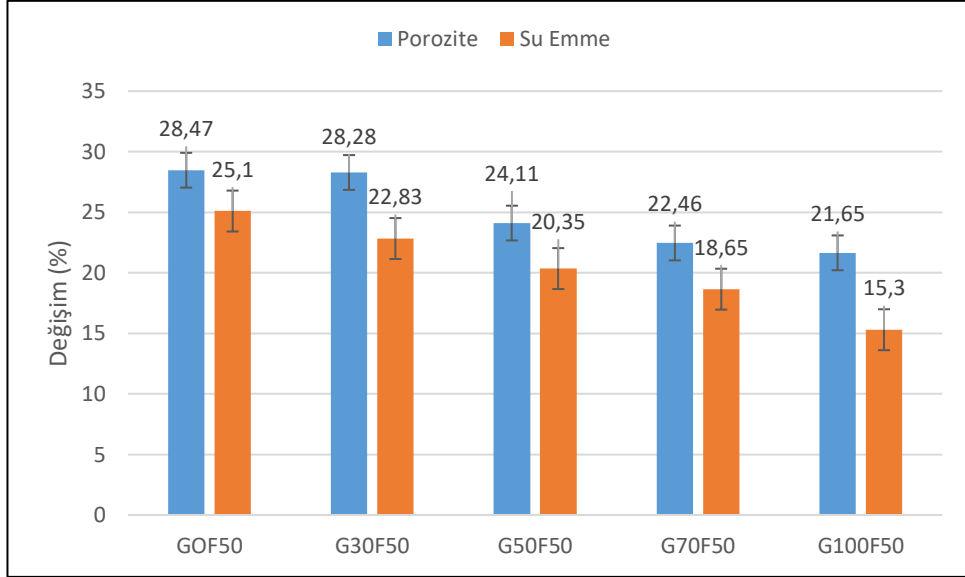


b)

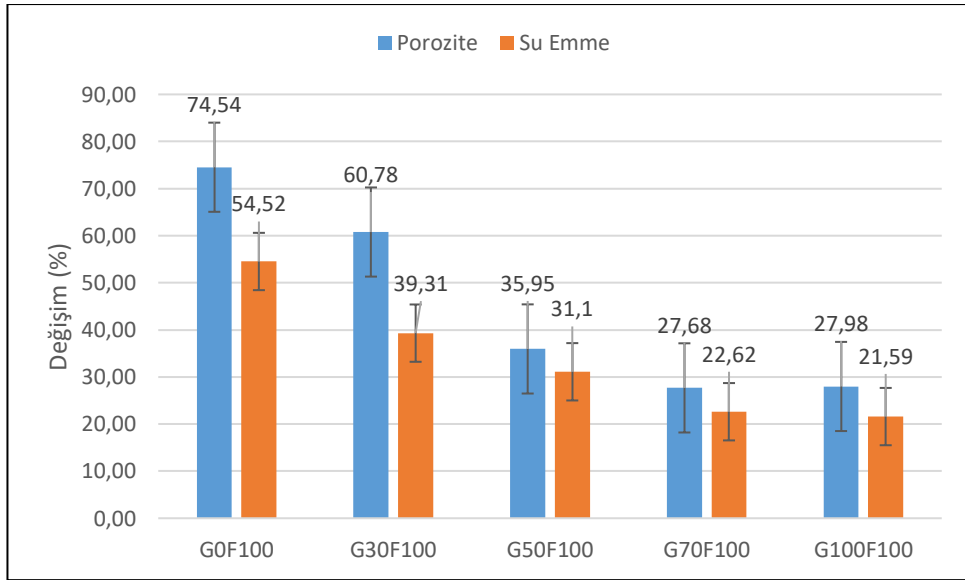
Şekil 4.5 Cam bağlayıcılı karışımların basınç dayanımı a) Köpük oranı 50 kg/m³ b) Köpük oranı 100 kg/m³

4.4 Porozite ve Su Emme

Şekil 4.6a-b'de 28 günlük kütleme sonrasında cam agregası içeren farklı numuneler üzerinde porozite ve su emme deney sonuçları gösterilmiştir. Elde edilen en yüksek porozite ve su emme değeri Şekil 4.6b'de G0F100 için sırasıyla %74,54 ve %54,52 ve en düşük porozite ve su emme değeri Şekil 4.6a'da G100F50 için sırasıyla %21,65 ve %15,30 olarak gözlemlenmiştir. Ayrıca belirli bir cam agregası içeriği için 50 kg/m³'ten 100 kg/m³'e yükselen köpük içeriği su emilimini %21-117 arasında ve poroziteyi %23-162 arasında artırdığı gözlemlenmiştir. Daha yüksek köpük içeriğine sahip karışımların daha düşük köpük içeriğine sahip olanlardan daha yüksek su emmesi yüksek köpük içeriği içeren karışımların daha gözenekli mikro yapısından dolayı olabilir. Şekil 4.6'da görülebileceği gibi belirli bir köpük içeriği için, artan cam agregası miktarı köpük betonun su emmesini ve porozitesini sürekli olarak azalttığı gözlemlenmiştir. Bu gözlem köpük betonun mikro yapısının poroziteyi azaltan ince boyutlu cam agregası dolgu etkisine atfedilebilir. Şekil 4.6'da görülebileceği gibi cam agregası, genişletilmiş perlitten daha düşük bir su emme özelliğine sahiptir, bu da artan cam agregası içeriği ile köpük betonun su emmesinde değerinde azalmasına neden olmuştur. Bu sonuçlar, cam agregasının gözenekleri doldurabildiğini ve su emmeyi azalttığını gösterebilir. 50 kg/m³ ve 100 kg/m³ köpük içeriğinde %0 cam agregası içeren karışım referans alındığında 50 kg/m³ köpük içeriğinde %100 cam agregası içeren karışım %39 daha az su emme ve %24 daha az poroziteye sahipken, 100 kg/m³ köpük içeriğinde %100 cam agregası içeren karışım %60 daha az su emme ve %62 daha az poroziteye sahiptir.



a)

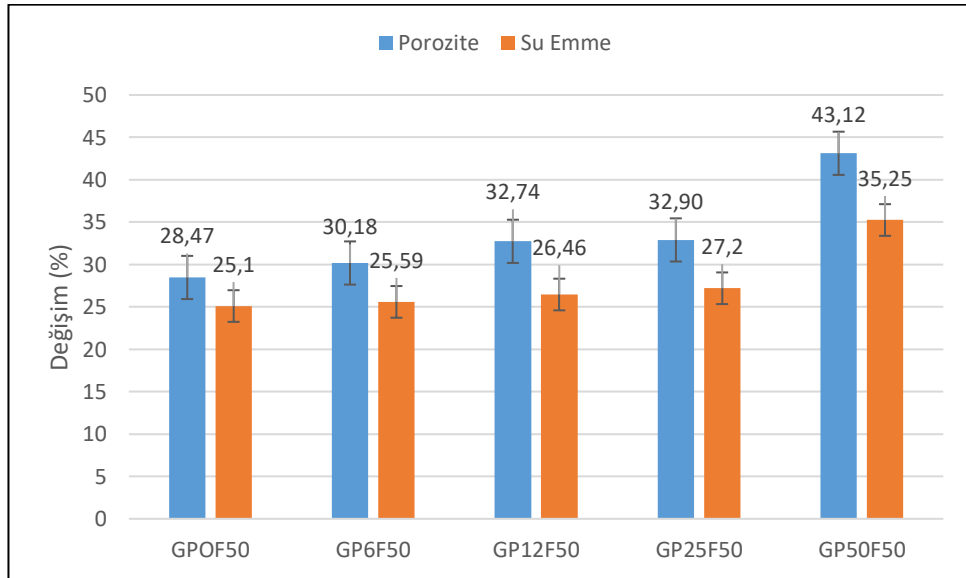


b)

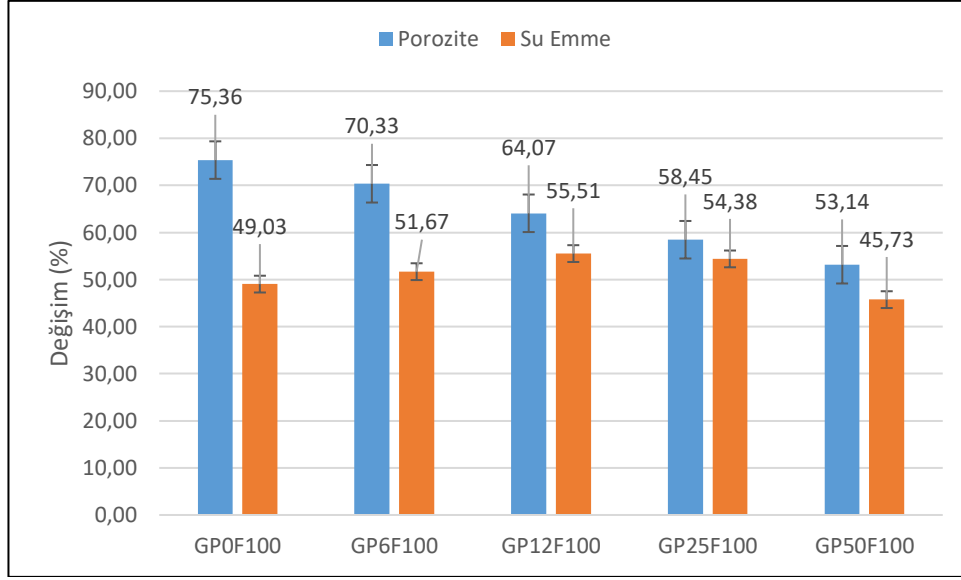
Şekil 4. 6 Cam agregalı karışımların porozite ve su emme oranları a) Köpük oranı 50 kg/m³
b) Köpük oranı 100 kg/m³

Şekil 4.7a-b'de cam tozu ikameli 50 kg/m³ ve 100 kg/m³ köpük içeren numunelerin 28 günlük kürlleme sonrasında porozite ve su emme deney sonuçları gösterilmiştir. Şekil 4.7a'da 50 kg/m³ köpük içeriğinde elde edilen en yüksek porozite ve su emme değeri GP50F50 numunesi için sırasıyla %43,12 ve %35,25 ve en düşük porozite ve su emme GP0F50 numunesi için sırasıyla %28,47 ve %25,10 olarak gözlemlenmiştir. Ayrıca 50 kg/m³ köpük içerikli karışımlarda GP0F50 referans olarak alındığında artan cam tozu içeriği su emilimini %1,95-40,44 arasında ve poroziteyi %6-51,46 arasında

artırdığı gözlemlenmiştir. Şekil 4.7b’de 100 kg/m³ köpük içeriğinde elde edilen en yüksek porozite değeri GP0F100 karışımı için %75,36 ve en yüksek su emme değeri GP12F100 karışımı için %55,51, en düşük porozite ve su emme değeri GP50F100 karışımı için sırasıyla %53,14 ve %45,73 olarak gözlemlenmiştir. 100 kg/m³ köpük içerikli karışımlarda GP0F100 referans olarak alındığında artan cam tozu içeriği poroziteyi %6,67-29,48 arasında azalttığı ve su emmeyi cam tozu ikame oranı %6,25-25 aralığında %5,38-13,22 arasında artırdığı, cam tozu ikame oranı %50 olan karışımda %6,73 azalttığı gözlemlenmiştir. 100 kg/m³ köpük içeriğine sahip karışımların 50 kg/m³ köpük içeriğine sahip karışımlardan daha yüksek su emmesi yüksek köpük içeriği içeren karışımların daha gözenekli mikro yapısından dolayı olabilir. Şekil 4.7a’da görülebileceği gibi 50 kg/m³ köpük içeriğinde artan cam tozu miktarı köpük betonun su emmesini ve porozitesini sürekli olarak artırdığı gözlemlenirken, şekil 4.7b’de 100 kg/m³ köpük içeriğinde artan cam tozu miktarı poroziteyi sürekli azaltırken su emmesini %25 cam tozu ikameli karışıma kadar artırdığı, %50 cam tozu ikameli karışımda azalttığı gözlemlenmiştir. 50 kg/m³ ve 100 kg/m³ köpük içeriğinde %0 cam tozu içeren karışım referans alındığında 50 kg/m³ köpük içeriğinde %100 cam agrega içeren karışım %40,44 daha fazla su emme ve %51,46 daha fazla poroziteye sahipken, 100 kg/m³ köpük içeriğinde %100 cam agrega içeren karışım %6,73 daha az su emme ve %6,73 daha az poroziteye sahiptir.



a)

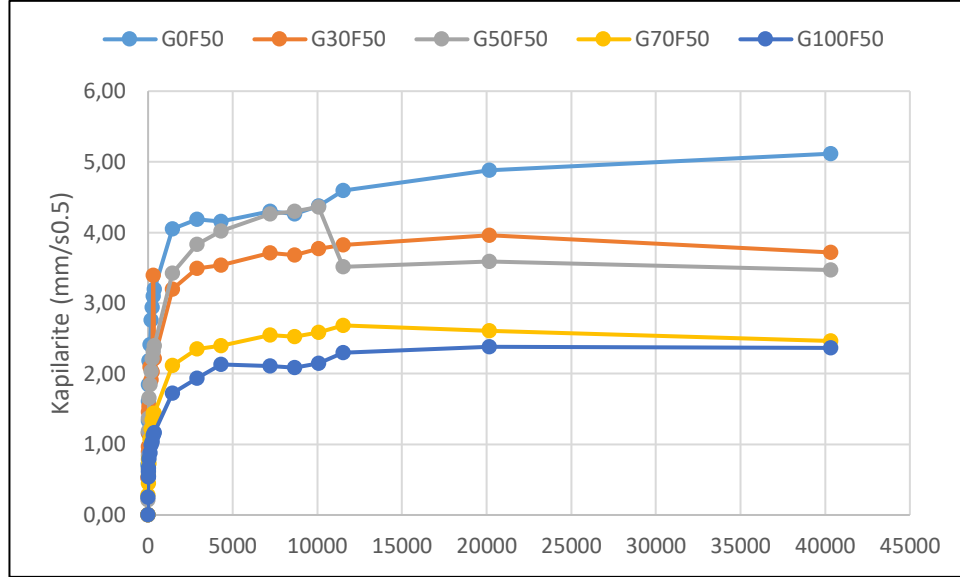


b)

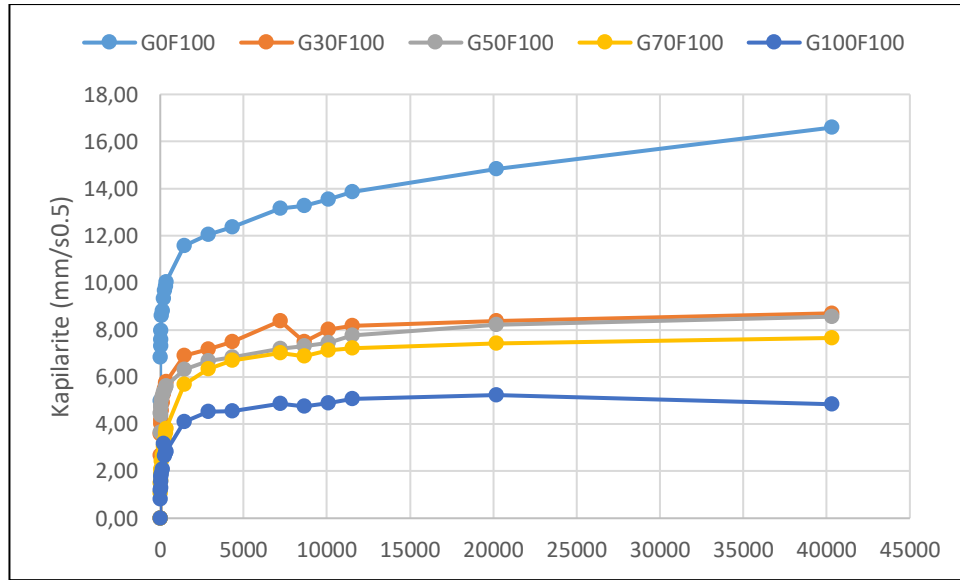
Şekil 4.7 Cam tozu ikameli karışımların porozite ve su emme oranları a) Köpük oranı 50 kg/m³ b) Köpük oranı 100 kg/m³

4.5 Kapilarite

Şekil 4.8a-b’de 50 kg/m³ ve 100 kg/m³ köpük içeren cam agrega ikameli karışımların 28 günlük zamana göre kapilarite sonucunu göstermektedir. 8. Güne kadar kapilaritede hızlı bir artış görülürken 14. güne doğru yavaşlamış ve 28. güne kadar hemen hemen sabit bir yönelim göstermiştir. 50 kg/m³ ve 100 kg/m³ köpük içeriğinde en düşük kapiler özelliği %100 cam agrega içeren karışım ve en yüksek kapiler özelliği %0 cam agrega içeren karışım elde etmiştir. 50 kg/m³ köpük içeriğinde %0 cam agrega içeren karışım (G0F50) referans olarak seçildiğinde artan cam agrega oranıyla birlikte kapiler özellik %27,20-53,62 arasında azalma göstermiştir. 100 kg/m³ köpük içeriğinde %0 cam agrega içeren karışım (G0F100) referans olarak seçildiğinde artan cam agrega oranıyla birlikte kapiler özellik %45,56-70,83 arasında azalma göstermiştir. Şekil 4.8a-b’ye göre 100 kg/m³ köpük içeren karışım 50 kg/m³ köpük içeren karışımdan 3 kat daha yüksek kapiler özellik sergilemiştir. Fakat belirli bir köpük içeriğinde cam agrega içeriği arttıkça kapiler özellik büyük ölçüde azalmıştır. Bu etki cam agregaların geçirimsizliğinden kaynaklanabilir ve daha yüksek cam agrega içeren bazı karışımlarda kürlenme süresi arttıkça kapiler özelliğin azaldığı görülebilir.



a)

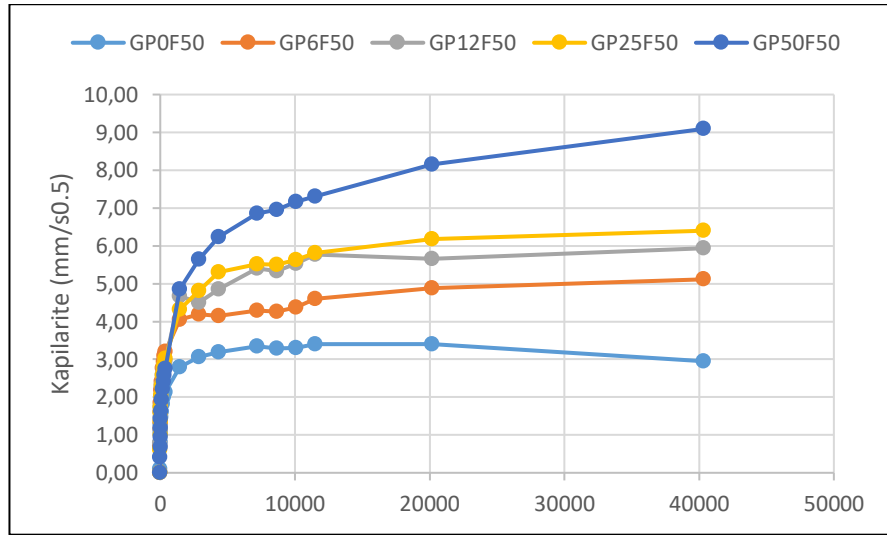


b)

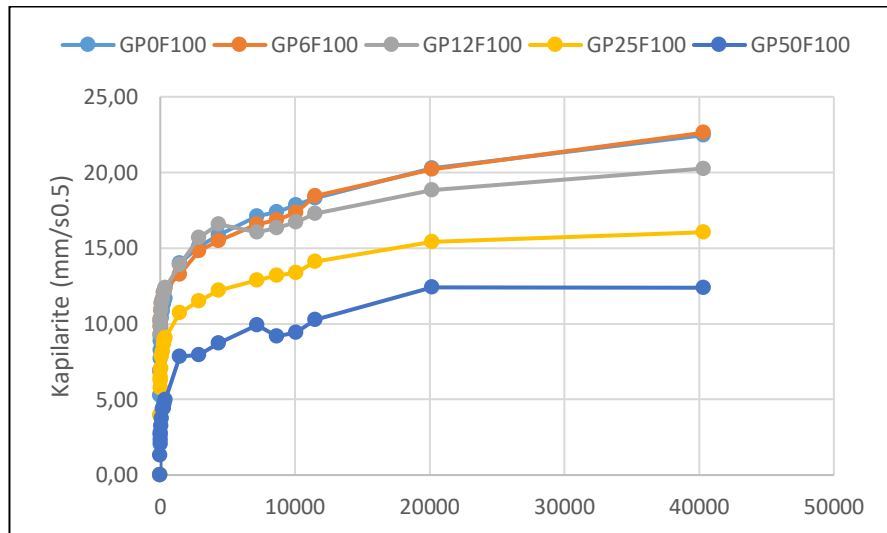
Şekil 4.8 Cam agregalı karışımların kapilarite sonuçları a) Köpük oranı 50 kg/m³ b) Köpük oranı 100 kg/m³

Şekil 4.9a-b’de 50 kg/m³ ve 100 kg/m³ köpük içeren cam tozu ikameli karışımların 28 günlük zamana göre kapilarite sonucunu göstermektedir. 50 kg/m³ köpük içeriğinde en düşük kapiler özelliği %0 cam tozu ikamesi içeren karışım ve en yüksek kapiler özelliği %100 cam tozu ikamesi içeren karışım elde etmiştir. 50 kg/m³ köpük içeriğinde %0 cam tozu ikamesi içeren karışım (GPOF50) referans olarak seçildiğinde artan cam tozu ikame oranıyla birlikte kapiler özellik %73,22-208,13 arasında artış göstermiştir.

100 kg/m³ köpük içeriğinde en düşük kapiler özelliği %50 cam tozu ikamesi içeren karışım ve en yüksek kapiler özelliği %6,25 cam tozu ikamesi içeren karışım elde etmiştir. 7. günden itibaren %0 cam tozu ikamesi içeren karışım ile %6,25 cam tozu ikamesi içeren karışım hemen hemen aynı kapiler değeri göstermiştir. 100 kg/m³ köpük içeriğinde %0 cam tozu ikamesi içeren karışım (GP0F100) referans olarak seçildiğinde artan cam tozu ikamesi oranıyla birlikte kapiler özellik %9,80-44,88 arasında azalma göstermiştir.



a)

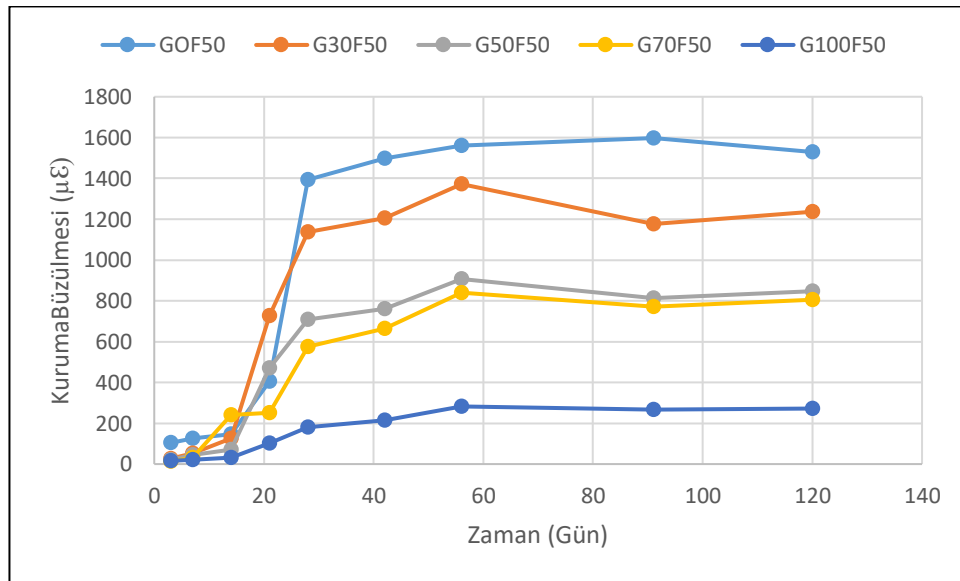


b)

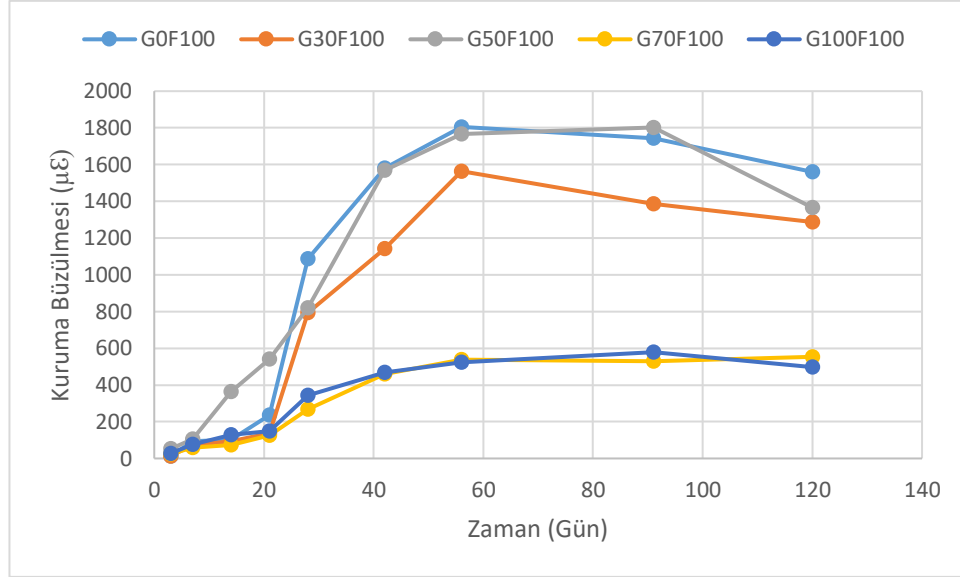
Şekil 4.9 Cam tozu ikameli karışımların kapilarite sonuçları a) Köpük oranı 50 kg/m³ b) Köpük oranı 100 kg/m³

4.6 Kuruma Büzülmesi

Şekil 4.10a-b’de 50 kg/m^3 ve 100 kg/m^3 köpük içeren cam agrega ikameli karışımların 120 günlük kurum büzülmeleri gösterilmektedir. Şekil 4.10a-b’de görüldüğü gibi 120. günde bu çalışmanın kuruma büzülmesi G100F50 için $271(10^{-6}) \mu\epsilon$ ile G0F100 için $1560(10^{-6}) \mu\epsilon$ arasında değişmektedir ve kuruma büzülmesinin ilk 28 gün de daha hızlı gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Şekil 4.10a’da 50 kg/m^3 köpük içerikli cam agrega ikameli karışımlar içerisinde cam agrega oranı %0 olan karışım referans alındığında %30 cam agrega içeren karışımda kuruma büzülmesi %19,27; %50 cam agrega içeren karışımda kuruma büzülmesi %44,61; %70 cam agrega içeren karışımda kuruma büzülmesi %47,48 ve %100 cam agrega içeren karışımda kuruma büzülmesi %82,30 azaldığı gözlemlenmiştir. Şekil 4.10b’de 100 kg/m^3 köpük içerikli cam agrega ikameli karışımlar içerisinde cam agrega oranı %0 olan karışım referans alındığında %30 cam agrega içeren karışımda kuruma büzülmesi %17,44; %50 cam agrega içeren karışımda kuruma büzülmesi %12,44; %70 cam agrega içeren karışımda kuruma büzülmesi %64,55 ve %100 cam agrega içeren karışımda kuruma büzülmesi %68,21 azaldığı gözlemlenmiştir. Şekil 4.10a-b’ye göre cam agrega oranı %0 olan karışım için köpük içeriği 50 kg/m^3 ’ten 100 kg/m^3 ’e artırıldığında köpük betonun kuruma büzülmesi yaklaşık %2 artışa neden olmuştur.



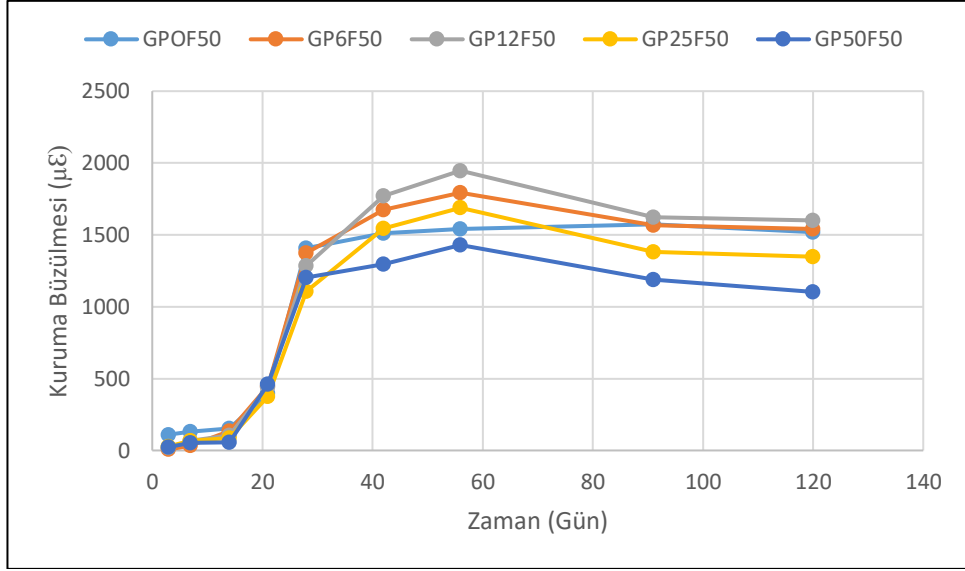
a)



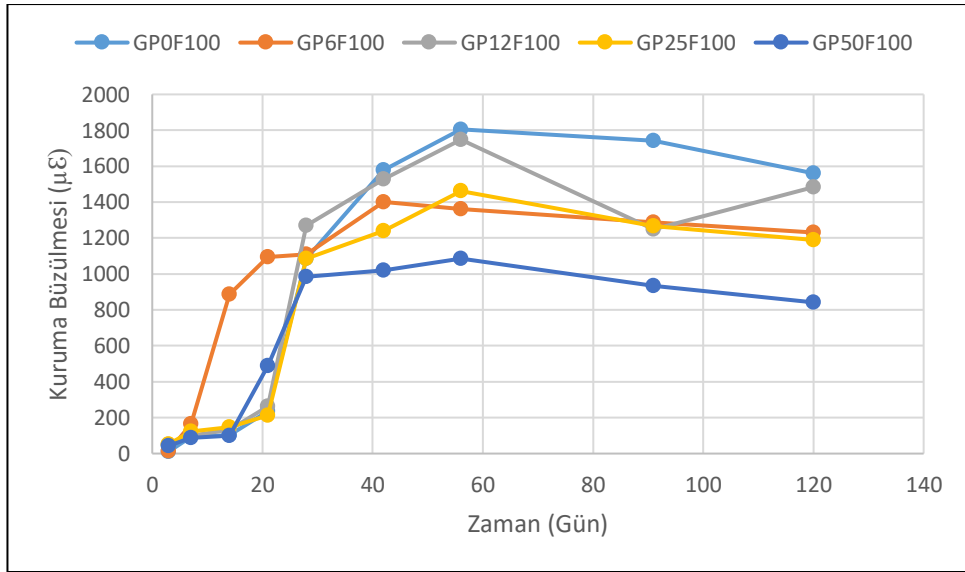
b)

Şekil 4.10 Cam agregalı karışımların kuruma büzülmeleri a) Köpük oranı 50 kg/m³ b) Köpük oranı 100 kg/m³

Şekil 4.11a-b'de 50 kg/m³ ve 100 kg/m³ köpük içeren cam tozu ikameli karışımların 120 günlük kurum büzülmeleri gösterilmektedir. Şekil 4.11a-b'de görüldüğü gibi 120. günde bu çalışmanın kuruma büzülmeleri GP0F50 için 2.95(10⁻⁶) μE ile GP12F100 için 22.63(10⁻⁶) μE arasında değişmektedir. Tüm karışımlar için kuruma büzülmesinin ilk 28 gün de daha hızlı gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Şekil 4.11a'da 50 kg/m³ köpük içerikli cam tozu ikameli karışımlar içerisinde cam tozu oranı %0 olan karışım referans alındığında %6,25 cam tozu içeren karışımda kuruma büzülmesi %73,22; %12,5 cam tozu içeren karışımda kuruma büzülmesi %101,35; %25 cam tozu içeren karışımda kuruma büzülmesi %116,95 ve %50 cam tozu içeren karışımda kuruma büzülmesi %208,14 arttığı gözlemlenmiştir. Şekil 4.11b'de 100 kg/m³ köpük içerikli cam tozu ikameli karışımlar içerisinde cam tozu oranı %0 olan karışım referans alındığında %6,25 cam tozu içeren karışımda kuruma büzülmesi %0,76 arttığı, %12,5 cam tozu içeren karışımda kuruma büzülmesi %9,80; %25 cam tozu içeren karışımda kuruma büzülmesi %28,54 ve %50 cam tozu içeren karışımda kuruma büzülmesi %44,88 azaldığı gözlemlenmiştir. Şekil 4.11a-b'ye göre cam tozu oranı %0 olan karışım için köpük içeriği 50 kg/m³'ten 100 kg/m³'e artırıldığında köpük betonun kuruma büzülmesi yaklaşık %661 artışa neden olmuştur. Şekil 4.10a-b ve Şekil 4.11a-b'de görüldüğü daha yüksek köpük içeriğine sahip karışımlar için daha yüksek kuruma büzülmesine sahip olma eğilimi gözlemlenebilir.



a)

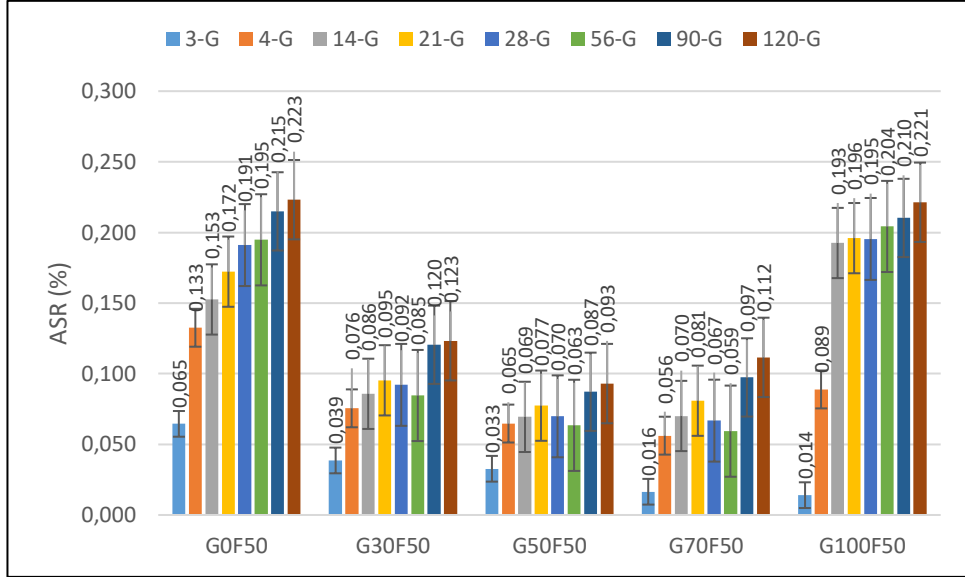


b)

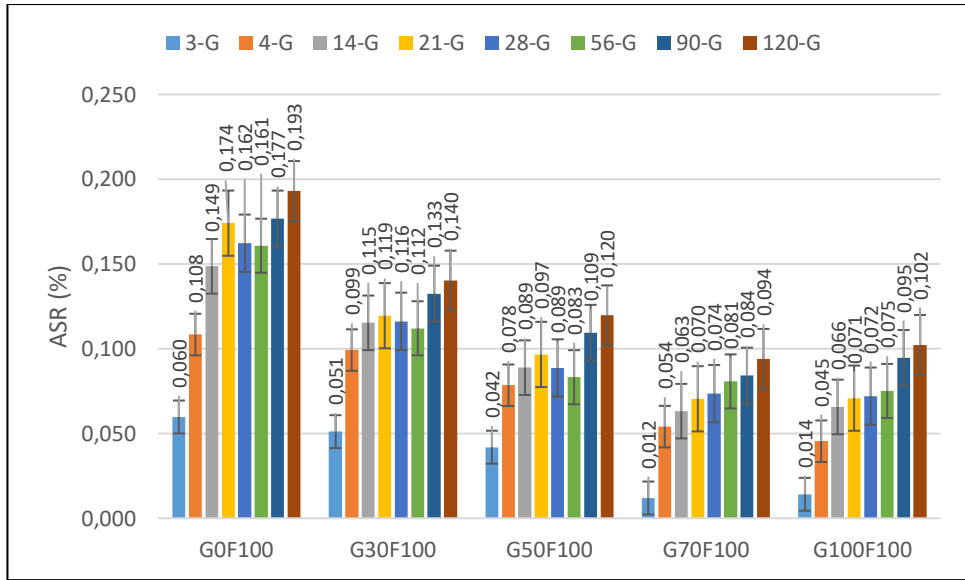
Şekil 4.11 Cam tozu ikameli karışımların kuruma büzülmeleri a) Köpük oranı 50 kg/m³ b) Köpük oranı 100 kg/m³

4.7 Alkali Silika Reaksiyonu (ASR)

Alkali silika reaksiyonu çimento hamuru ile alkali (Na^+ ve K^+) ve hidroksil (OH^-) iyonları arasında gerçekleşen kimyasal reaksiyonu ifade eder. ASR özellikle köpük betonda önemli bir sorun olmamasına karşın, köpük betonda cam agregaların kullanımı genellikle potansiyel olarak cam malzemenin sodyum içeriği (Na) nedeniyle artan ASR ile ilişkilendirilebilir. Şekil 4.12a-b'de 50 kg/m^3 ve 100 kg/m^3 köpük içeren cam agregaya ikameli farklı karışımların farklı kürleme yaşlarında ASR gelişmelerini göstermektedir. Şekil 4.12a'da görüldüğü gibi kürlemenin 120. gününde 50 kg/m^3 köpük içeriğine sahip karışımların ASR'si %0,093 (G50F50) ile %0,223 (G0F50) arasında değişmektedir. Şekil 4.12a'da 120. günde cam agregaya içermeyen G0F50 referans olarak alındığında %30 cam agregaya içeren karışım için ASR genişmesi %44,84; %50 cam agregaya içeren karışım için ASR genişmesi %58,30; %70 cam agregaya içeren karışım için ASR genişmesi %49,77 ve %100 cam agregaya içeren karışım için ASR genişmesinde %0,90 azalma gözlemlenmiştir. Şekil 4.12a'da görülebileceği gibi cam agregaya içeren karışımların 3 günlük ASR gelişmelerinin düşük çıktığı gözlemlenmiştir. Şekil 4.12b'de kürlemenin 120. gününde 100 kg/m^3 köpük içeriğine sahip karışımların ASR'si %0,094 (G70F100) ile %0,193 (G0F100) arasında değişmektedir. Şekil 4.12b'de 120. günde cam agregaya içermeyen G0F100 referans olarak alındığında %30 cam agregaya içeren karışımda ASR genişmesinde %27,46; %50 cam agregaya içeren karışımda ASR genişmesinde %37,82; %70 cam agregaya içeren karışımda ASR genişmesinde %51,30 ve %100 cam agregaya içeren karışımda ASR genişmesinde %47,15 azalma gözlemlenmiştir. Şekil 4.12a-b'de belirli bir cam agregaya içeriği dikkate alındığında 50 kg/m^3 ve 100 kg/m^3 köpük içeriğinde yüksek köpük içeriğine sahip karışımların genellikle daha düşük ASR genişmesi sergilediği gözlemlenmiştir.



a)

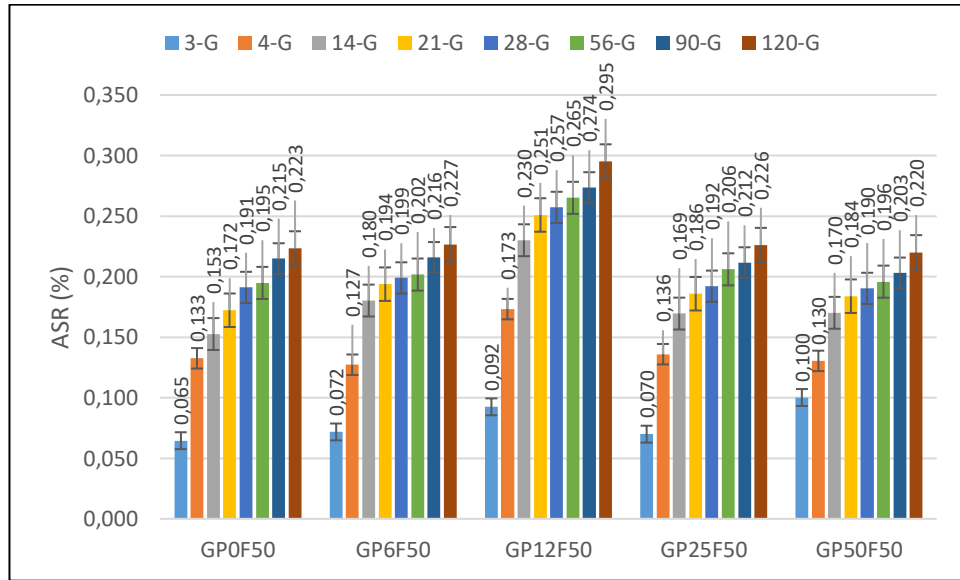


b)

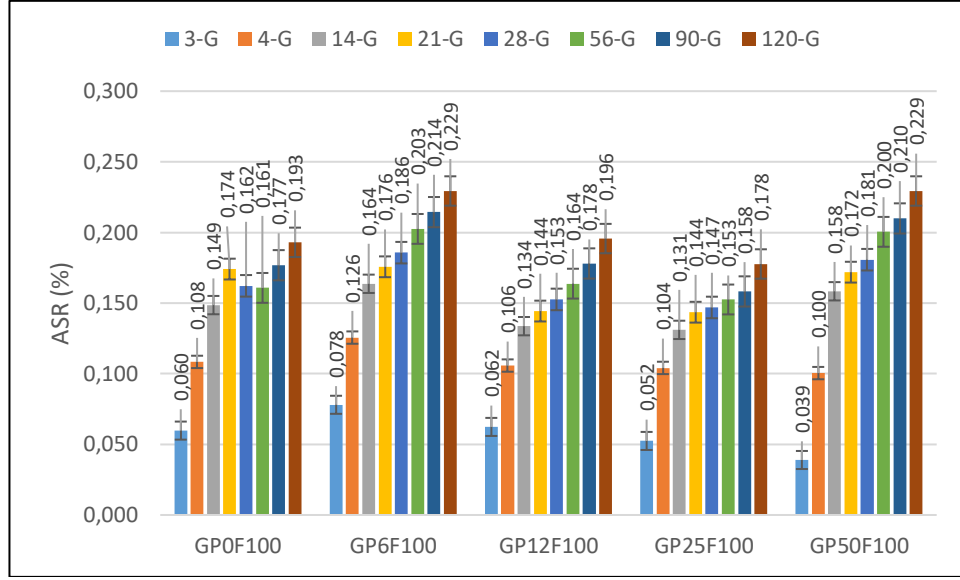
Şekil 4.12 Cam agregalı karışımların ASR sonuçları a) Köpük oranı 50 kg/m³ b) Köpük oranı 100 kg/m³

Şekil 4.13a-b'de 50 kg/m³ ve 100 kg/m³ köpük içeren cam tozu ikameli farklı karışımların farklı kürlenme yaşlarında ASR genleşmelerini göstermektedir. Şekil 4.13a'da görüldüğü gibi kürlenmenin 120. gününde 50 kg/m³ köpük içeriğine sahip karışımların ASR'si %0,220 (GP50F50) ile %0,295 (GP12F50) arasında değişmektedir. Şekil 4.13a'da 120. günde cam tozu ikamesi içermeyen GP0F50 referans olarak alındığında %6,25 cam tozu ikamesi içeren karışım için ASR genleşmesi %1,80; %12,5 cam tozu ikamesi içeren karışım için ASR genleşmesi

%32,30; %25 cam tozu ikamesi içeren karışım için ASR genişmesi %1,35 arttığı ve %50 cam tozu ikamesi içeren karışım için ASR genişmesinde %1,35 azaldığı gözlemlenmiştir. Şekil 4.13b'da görülebileceği gibi cam agregası içeren karışımların 3 günlük ASR genişmelerinin düşük çıktığı gözlemlenmiştir. Şekil 4.13b'de kürlenmenin 120. gününde 100 kg/m³ köpük içeriğine sahip karışımların ASR'si %0,178 (GP25F100) ile %0,229 (GP6F100 ve GP50F100) arasında değişmektedir. Şekil 4.13b'de 120. günde %0 cam tozu içeren GP0F100 karışımı referans olarak alındığında %6,25 cam tozu içeren karışımda ASR genişmesinde %18,65; %12,5 cam tozu içeren karışımda ASR genişmesinde %1,55 artma, %25 cam tozu içeren karışımda ASR genişmesinde %7,77 azalma ve %50 cam tozu içeren karışımda ASR genişmesinde %18,65 artma gözlemlenmiştir. Şekil 4.13a-b'de belirli bir cam tozu içeriği dikkate alındığında 50 kg/m³ ve 100 kg/m³ köpük içeriğinde yüksek köpük içeriğine sahip karışımların genellikle daha düşük ASR genişmesi sergilediği gözlemlenmiştir.



a)

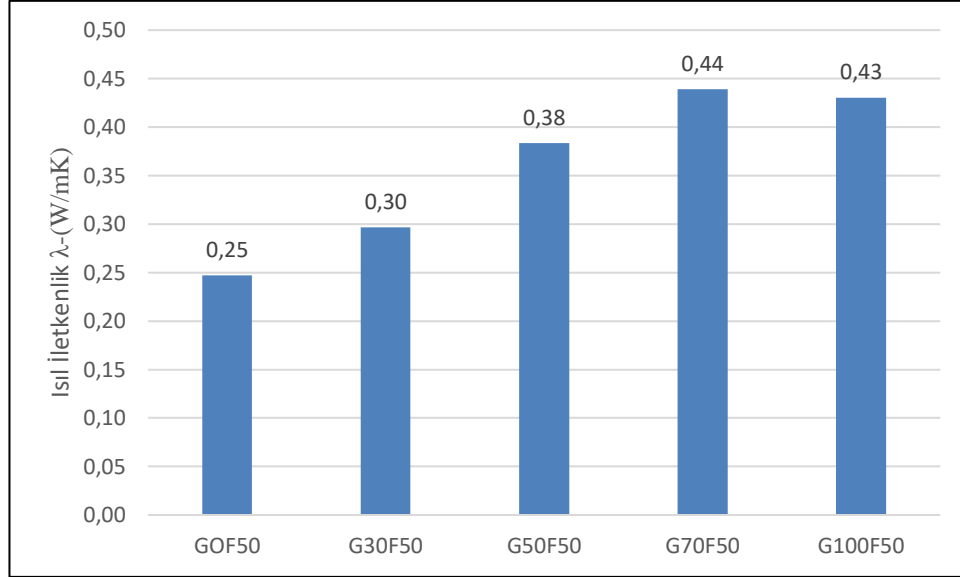


b)

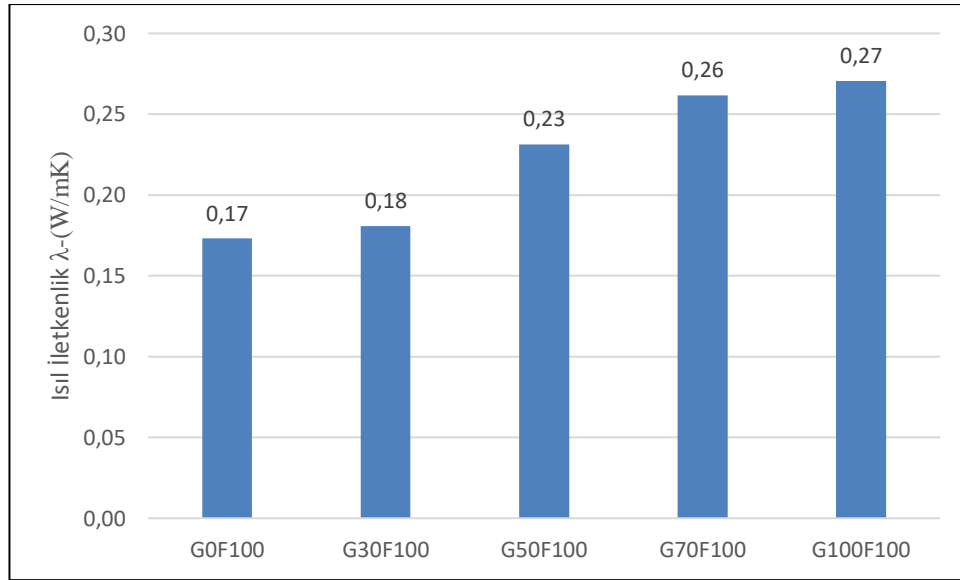
Şekil 4.13 Cam tozu ikameli karışımların ASR sonuçları a) Köpük oranı 50 kg/m³ b) Köpük oranı 100 kg/m³

4.8 Isıl İletkenlik

Şekil 4.14a-b’de 28 gün kürlenmeden sonra 50 kg/m³ ve 100 kg/m³ köpük içeren cam agregalı karışımın ısı iletkenlik katsayılarını göstermektedir. Şekil 4.14a-b’ye göre köpük betonların ısı iletkenliği en düşük 100 kg/m³ köpük içeren %0 cam agregalı karışım (G0F100) için 0,17 W/mK ile en yüksek 50 kg/m³ köpük içeren %70 cam agregalı karışım (G70F50) için 0,44 W/mK arasında değişmektedir. 50 kg/m³ köpük içeren karışımında %0 cam agregası içeren karışım referans alındığında %30 cam agregası içeren karışımında ısı iletkenlik %20, %50 cam agregası içeren karışımında ısı iletkenlik %52, %70 cam agregası içeren karışımında ısı iletkenlik %76 ve %100 cam agregası içeren karışımında ısı iletkenlik %72 arttığı gözlemlenmiştir. 100 kg/m³ köpük içeren karışımında %0 cam agregası içeren karışım referans alındığında %30 cam agregası içeren karışımında ısı iletkenlik %5,88; %50 cam agregası içeren karışımında ısı iletkenlik %32,30; %70 cam agregası içeren karışımında ısı iletkenlik %52,94 ve %100 cam agregası içeren karışımında ısı iletkenlik %58,82 arttığı gözlemlenmiştir. Şekil 4.14a-b’de görülebileceği gibi, belirli bir köpük içeriği için artan cam agregası içeriği, köpük betonun termal iletkenliğinin artmasına neden olmuştur.



a)

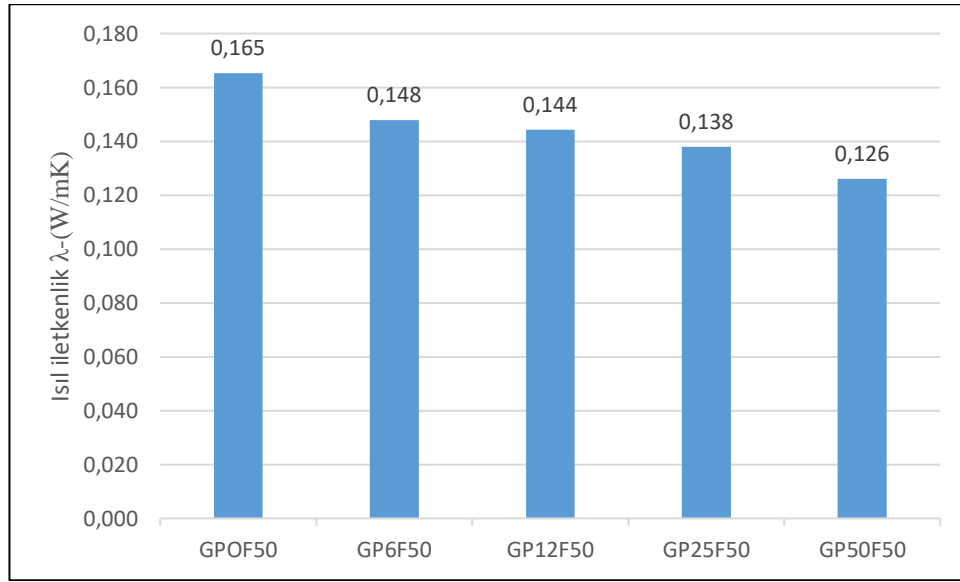


b)

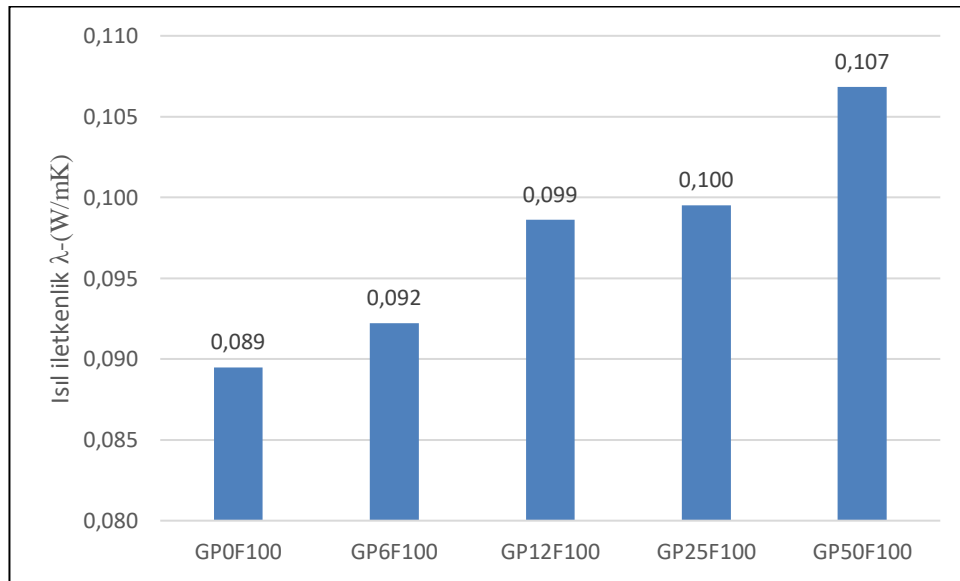
Şekil 4.14 Cam agregalı karışımların ısıl iletkenlik katsayıları a) Köpük oranı 50 kg/m³ b) Köpük oranı 100 kg/m³

Şekil 4.15a-b'de 28 gün kürlenmeden sonra 50 kg/m³ ve 100 kg/m³ köpük içeren cam tozu bağlayıcılı karışımın ısıl iletkenlik katsayılarını göstermektedir. Şekil 4.15a-b'ye göre köpük betonların ısıl iletkenliği en düşük 100 kg/m³ köpük içeren %0 cam tozu bağlayıcılı karışım (GP0F100) için 0,089 W/mK ile en yüksek 50 kg/m³ köpük içeren %0 cam tozu bağlayıcılı karışım (GP0F50) için 0,165 W/mK arasında değişmektedir. 50 kg/m³ köpük içeren karışımda %0 cam tozu bağlayıcılı karışım referans alındığında %6,25 cam tozu bağlayıcılı karışımda ısıl iletkenlik %10,30; %12,5 cam tozu

bağlayıcıli karışımında ısıli iletkenlik %12,72; %25 cam tozu bağlayıcıli karışımında ısıli iletkenlik %16,36 ve %50 cam tozu bağlayıcıli karışımında ısıli iletkenlik %23,63 azaldığı gözlemlenmiştir. 100 kg/m³ köpük içeren karışımında %0 cam agrega içeren karışım referans alındığında %6,25 cam tozu bağlayıcıli karışımında ısıli iletkenlik %3,37; %12,5 cam tozu bağlayıcıli karışımında ısıli iletkenlik %11,23; %25 cam tozu bağlayıcıli karışımında ısıli iletkenlik %12,36 ve %50 cam tozu bağlayıcıli karışımında ısıli iletkenlik %20,22 arttığı gözlemlenmiştir.



a)



b)

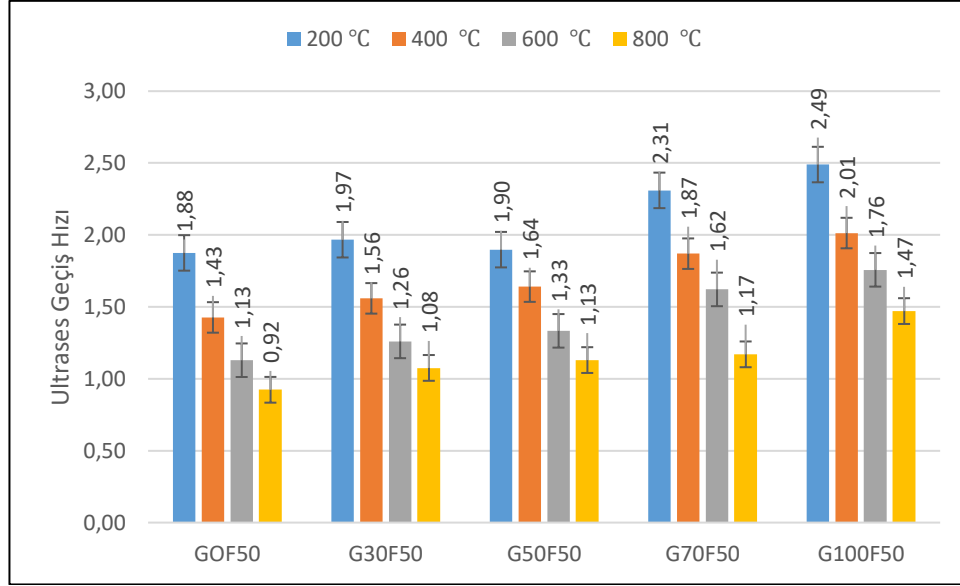
Şekil 4.15 Cam tozu bağlayıcıli karışımaların ısıli iletkenlik katsayıları a) Köpük oranı 50 kg/m³ b) Köpük oranı 100 kg/m³

4.9 Yüksek Sıcaklık Dayanıklılığı

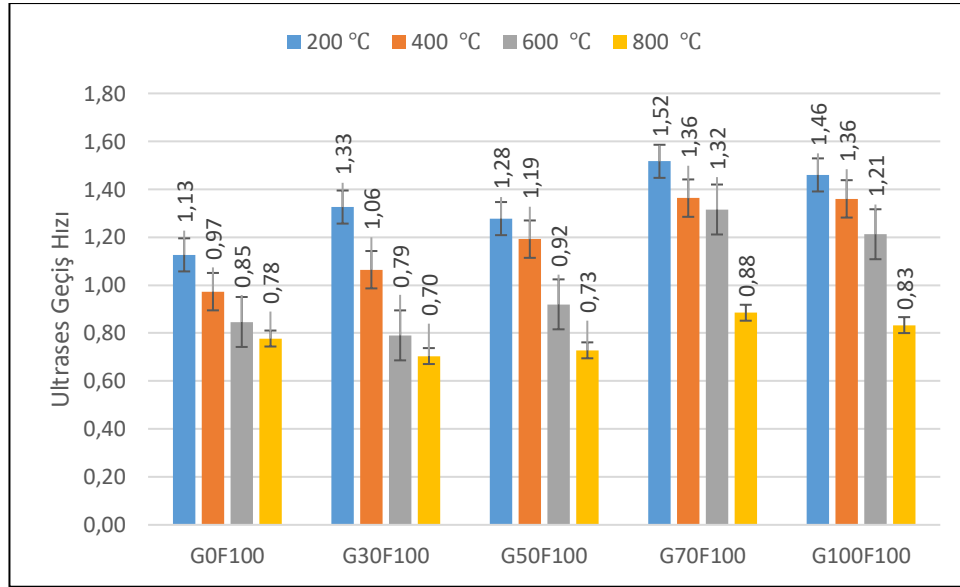
50 kg/m³ ve 100 kg/m³ köpük içeren tüm karışımların 105°C'de 24 saat etüvde kurutulduktan sonra 200°C, 400°C, 600°C ve 800°C sıcaklıklara 120 dakika boyunca 10°C/dakika hızda yüksek sıcaklık etkisine maruz bırakılmıştır. Bu süre sonunda numuneler su ile soğutma ve hava ile soğutma olmak üzere iki farklı şekilde soğutulmuştur. Soğutma işlemi tamamlanan numunelerin ultrases geçiş hızı değişimi (UGH) ölçülmüş ve sonrasında eğilme ve basınç dayanımı testi uygulanmıştır.

4.9.1 Hava Soğutma

Şekil 4.16, 4.17, 4.18 ve 4.19'da 50 kg/m³ ve 100 kg/m³ köpük içeren cam agregalı karışımların 200°C, 400°C, 600°C ve 800°C sıcaklıklara maruz bırakıldıktan sonra ortam sıcaklığında havada kademeli olarak soğutulan farklı karışımların UGH değişimleri, basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve kütle kaybındaki değişimler gösterilmektedir. Şekil 4.16a'da 50 kg/m³ köpük içeren karışımların havada kademeli soğutulduktan sonra UGH değişimleri gösterilmektedir. %0 cam agregası içeren karışım (G0F50) referans olarak alındığında cam agregası oranı arttıkça UGH değişimi 200°C'de %1,06-32,44; 400°C'de %9,10-40,56; 600°C'de %11,50-55,75 ve 800°C'de %17,40-59,80 arasında artış gözlemlenmiştir. 100 kg/m³ köpük içeren karışımların UGH değişimleri şekil 4.16b'de görüldüğü gibi %0 cam agregası içeren karışım (G0F100) referans olarak alındığında cam agregası oranı arttıkça UGH değişimi 200°C'de %13,27-34,51; 400°C'de %9,28-40,21 arasında artış gözlemlenmiş, 600°C'de %30 cam agregası içeren karışımda %7,06 azalma gözlemlenirken sonrasında cam agregası miktarı arttıkça %8,24-55,30 arasında artış gözlemlenmiştir ve 800°C'de %30 ve %50 cam agregası içeren karışımlarda sırasıyla %10,26; %6,41 azalma görülürken %70 ve %100 cam agregası içeren karışımlarda sırasıyla %12,82; %6,41 artış gözlemlenmiştir. Şekil 4.16'dan yüksek sıcaklığa maruz kalmanın 50 kg/m³ köpük içeren karışımların UGH değişimini, 100 kg/m³ köpük içeren karışımlarda daha fazla azalttığı görülmüştür. Ayrıca belirli bir köpük ve cam agregası içeriği için sıcaklıktaki bir artışın köpük betonun UGH değerinde bir azalmaya yol açtığı şekilde görülebilir.



a)

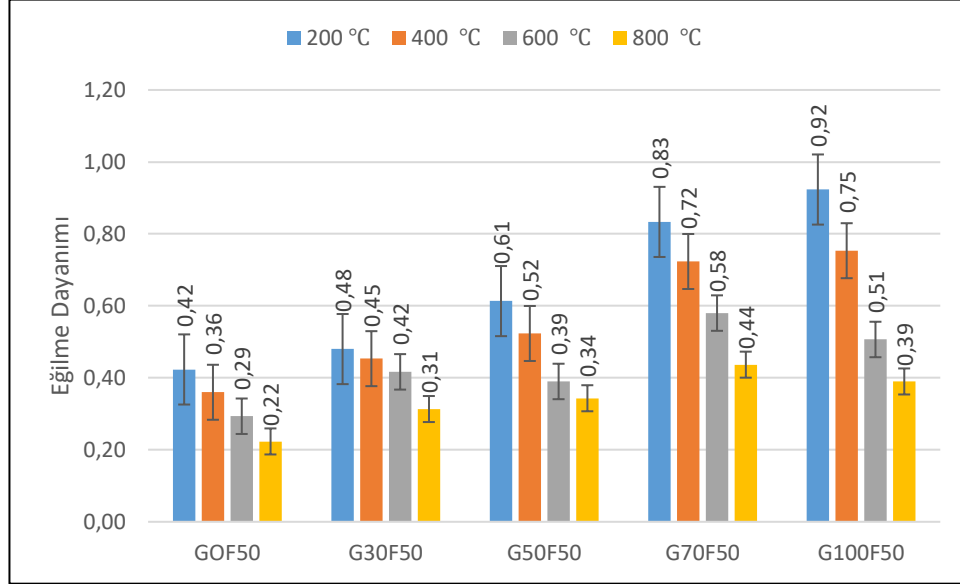


b)

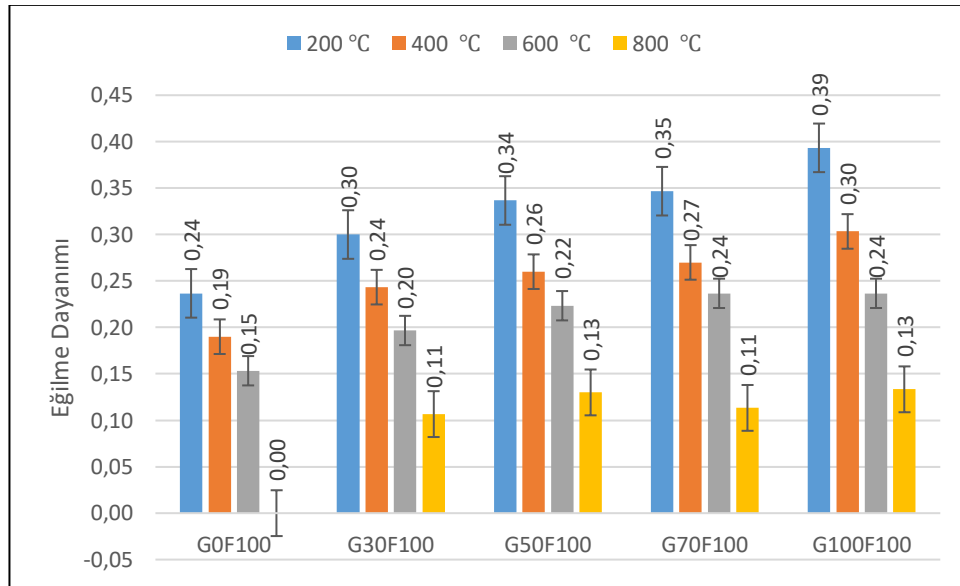
Şekil 4.16 Yüksek sıcaklık etkisine maruz bırakılan cam agregalı karışımların hava soğutma sonrası UGH değişimi (km/s) a) Köpük oranı 50 kg/m³ b) Köpük oranı 100 kg/m³

Şekil 4.17a'da 50 kg/m³ köpük içeren karışımların havada kademeli soğutulduktan sonra eğilme dayanımlarını gösterilmektedir. %0 cam agregası içeren karışım (G0F50) referans olarak alındığında cam agregası oranı arttıkça eğilme dayanımı 200°C'de %14,30-119,04; 400°C'de %25-108,33; 600°C'de %34,50-100 ve 800°C'de %40,91-100 arasında artış gözlemlenmiştir. Şekil 4.17b'de 100 kg/m³ köpük içeren karışımlarda %0 cam agregası içeren karışım (G0F100) referans olarak alındığında cam agregası oranı arttıkça eğilme dayanımı 200°C'de %25-62,5; 400°C'de %26,32-57,90;

600°C’de %33,33-60 ve 800°C’de %30 cam agrega içeren karışım (G30F100) referans olarak alındığında %18,18 arasında artış gözlemlenmiştir. Şekil 4.17’de görüldüğü gibi belirli bir köpük içeriği ve cam agrega için, sıcaklıktaki bir artış köpük betonun eğilme dayanımında azalmaya neden olmuştur.



a)

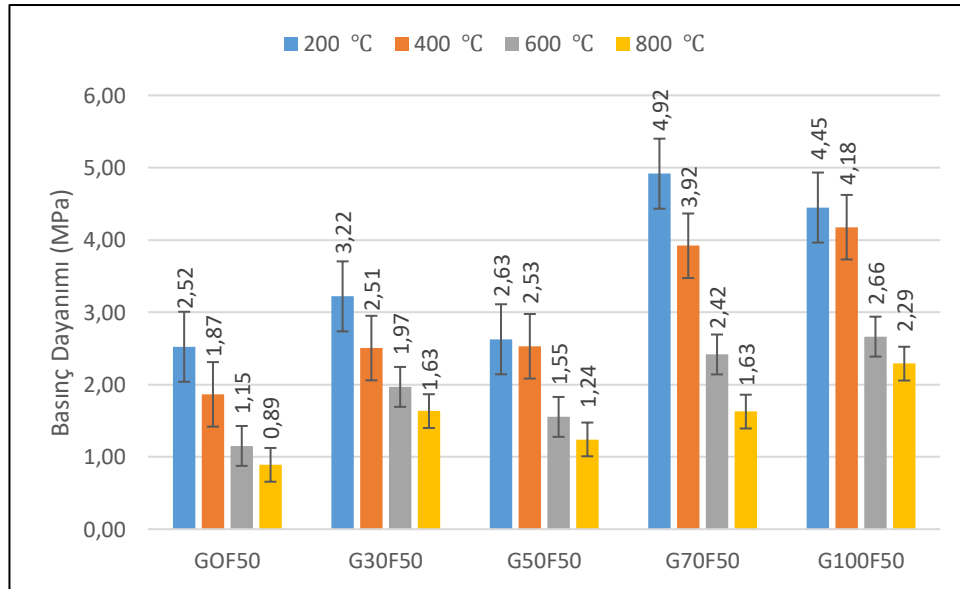


b)

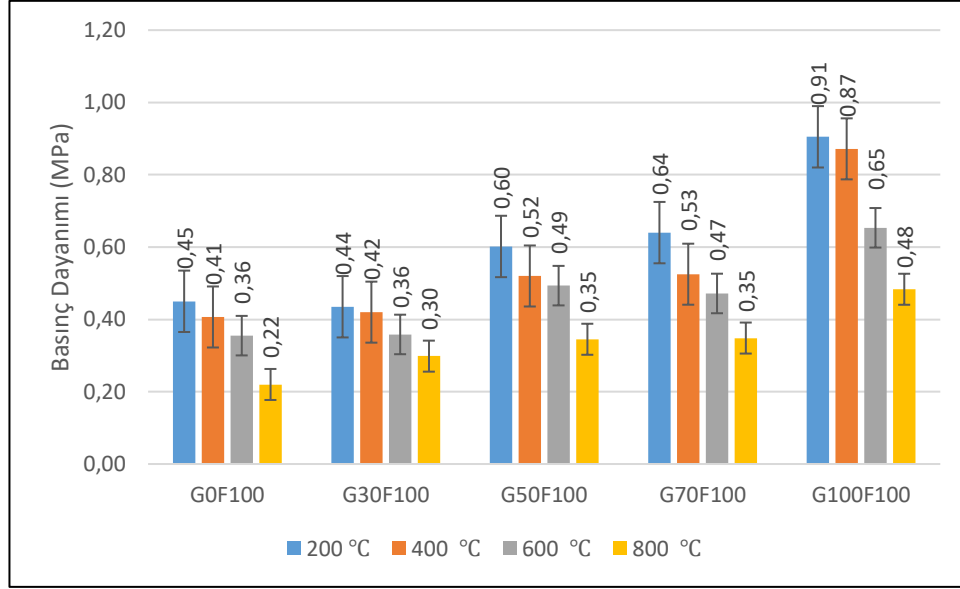
Şekil 4.17 Yüksek sıcaklık etkisine maruz bırakılan cam agregalı karışımların hava soğutma sonrası eğilme dayanımları a) Köpük oranı 50 kg/m³ b) Köpük oranı 100 kg/m³

Şekil 4.18a’da 50 kg/m³ köpük içeren karışımların havada kademeli soğutulduktan sonra basınç dayanımlarını gösterilmektedir. %0 cam agrega içeren karışım (G0F50)

referans olarak alındığında cam agrega oranı arttıkça basınç dayanımı 200°C’de %4,36-95,24; 400°C’de %34,22-123,53; 600°C’de %34,80-131,30 ve 800°C’de %39,33-157,30 arasında artış gözlemlenmiştir. Şekil 4.18b’de 100 kg/m³ köpük içeren karışımlarda %0 cam agrega içeren karışım (G0F100) referans olarak alındığında cam agrega oranı arttıkça basınç dayanımı 200°C’de %33,33-102,22; 400°C’de %2,44-112,20, 600°C’de %30,56-80,56 ve 800°C’de %36.36-118.20 arasında artış gözlemlenmiştir. Şekil 4.18’de görüldüğü gibi belirli bir köpük içeriği ve cam agrega için, sıcaklıktaki bir artış köpük betonun basınç dayanımında azalmaya neden olmuştur. Karışımlarda köpük içeriğinin 50 kg/m³’ten 100 kg/m³’ten artması, ortalama olarak basınç ve eğilme dayanımında sırasıyla %80 ve %56 azalmaya neden olmuştur. Ayrıca %100 cam agrega içeren ve 800°C’ye maruz bırakılan 50 kg/m³ ve 100 kg/m³ köpük içerikli karışımlar, %100 genişletilmiş perlit içeren karışımlara göre yaklaşık %79 daha yüksek basınç ve yaklaşık %66 eğilme dayanımı sergilediği gözlemlenmiştir. Yüksek sıcaklıklarda daha yüksek cam agrega içeriği içeren karışımların daha yüksek dayanım sergilemesi, genişletilmiş perlite kıyasla camın daha yüksek sıcaklık direncinden kaynaklanıyor olabilir.



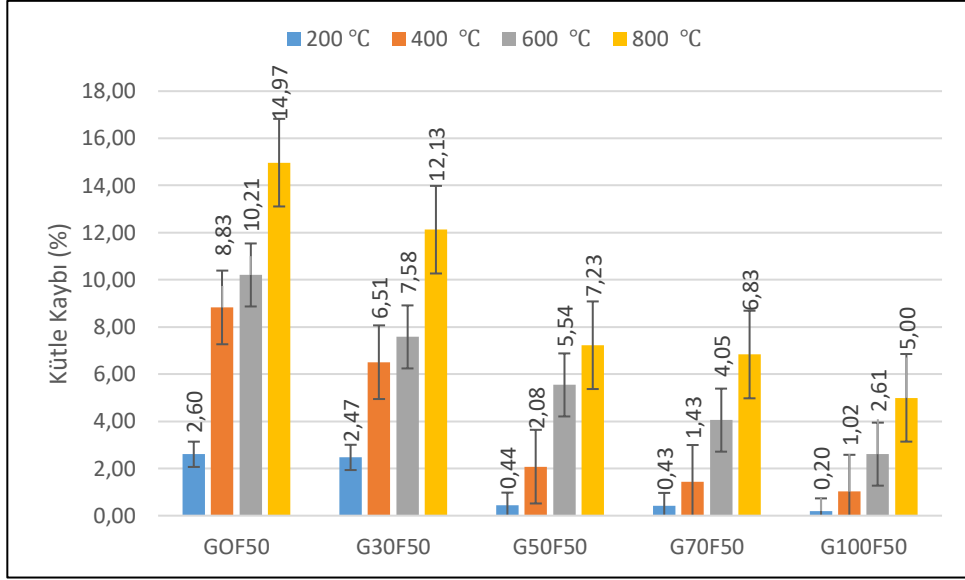
a)



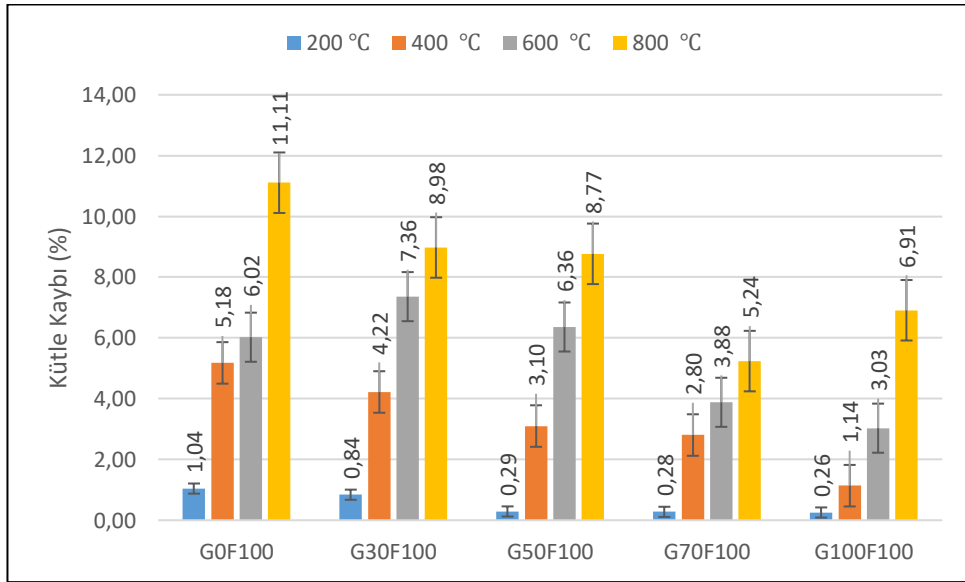
b)

Şekil 4.18 Yüksek sıcaklık etkisine maruz bırakılan cam agregalı karışımların hava soğutma sonrası basınç dayanımları a) Köpük oranı 50 kg/m³ b) Köpük oranı 100 kg/m³

Şekil 4.19’da görüldüğü gibi yüksek sıcaklığa maruz bırakılmış köpük betonların kütle kaybı %0,20 ile %14,97 arasında değişmektedir. Belirli bir köpük ve cam agregası içeriği için artan sıcaklık, köpük betonun kütle kaybında bir artışa neden olmuştur. 200°C’den 800°C’ye yükseltilmiş sıcaklık, 50 ve 100 kg/m³ köpük içerikli karışımların kütle kaybında sırasıyla %476-2400 ve %968-2558 artışa yol açmıştır, bu da daha yüksek köpük içeriği içeren karışımların daha önemli kütle kaybına işaret etmektedir. Şekil 4.19’da görülebileceği gibi, belirli bir köpük içeriği ve sıcaklık için, cam agregası içeriğindeki bir artış genellikle köpük betonların kütle kaybında bir azalmaya yol açmıştır.



a)

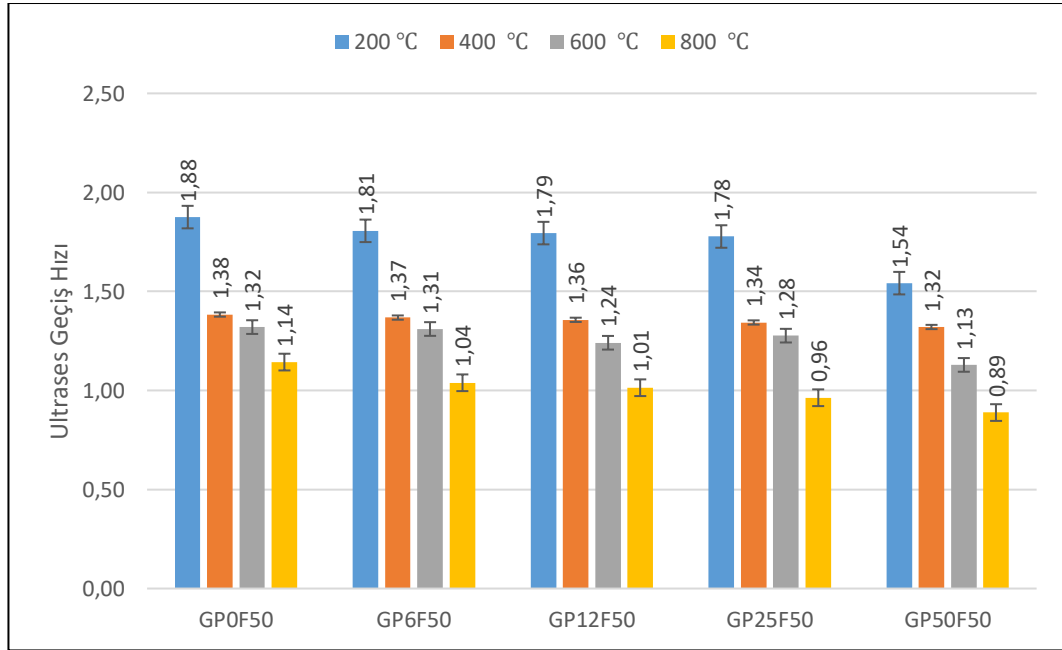


b)

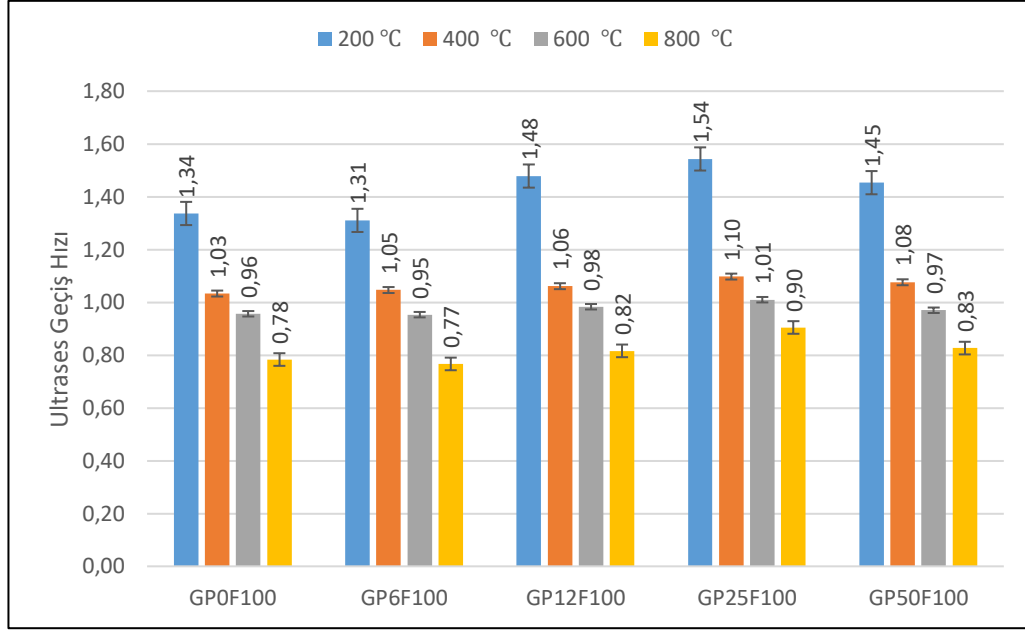
Şekil 4.19 Yüksek sıcaklık etkisine maruz bırakılan cam agregalı karışımların hava soğutma sonrası kütle kaybı a) Köpük oranı 50 kg/m³ b) Köpük oranı 100 kg/m³

Şekil 4.20, 4.21 ve 4.22’de 50 kg/m³ ve 100 kg/m³ köpük içeren cam tozu ikameli karışımların 200°C, 400°C, 600°C ve 800°C sıcaklıklara maruz bırakıldıktan sonra ortam sıcaklığında havada kademeli olarak soğutulan farklı karışımların UGH değişimleri, basınç dayanımı ve eğilme dayanımındaki değişimler gösterilmektedir. Şekil 4.20a’da 50 kg/m³ köpük içeren karışımların havada kademeli soğutulduktan sonra UGH değişimleri gösterilmektedir. %0 cam tozu içeren karışım (GP0F50) referans olarak alındığında cam tozu oranı arttıkça UGH değişimi 200°C’de %3,72-

18,10; 400°C’de %0,72-4,35; 600°C’de %0,76-14,40 ve 800°C’de %8,77-21,93 arasında azalış gözlemlenmiştir. 100 kg/m³ köpük içeren karışımların UGH değişimleri şekil 4.20b’de görüldüğü gibi %0 cam agrega içeren karışım (GP0F100) referans olarak alındığında cam agrega oranı arttıkça UGH değişimi 200°C’de cam tozu ikame oranı %6,25 olan karışımda %2,24 azalma diğer karışım oranlarında %8,21-14,93 arasında artış gözlemlenirken, 400°C’de %1,94-6,80 arasında artış, 600°C’de cam tozu ikame oranı %6,25 olan karışımda %1,04 azalma diğer karışım oranlarında %1,04-5,21 arasında artış ve 800°C’de cam tozu ikame oranı %6,25 olan karışımda %1,28 azalma diğer karışım oranlarında %5,13-15,38 arasında artış gözlemlenmiştir. Şekil 4.20’de belirli bir köpük ve cam tozu içeriği için sıcaklıktaki bir artışın köpük betonun UGH değerinde bir azalmaya yol açtığı şekilde görülebilir.



a)

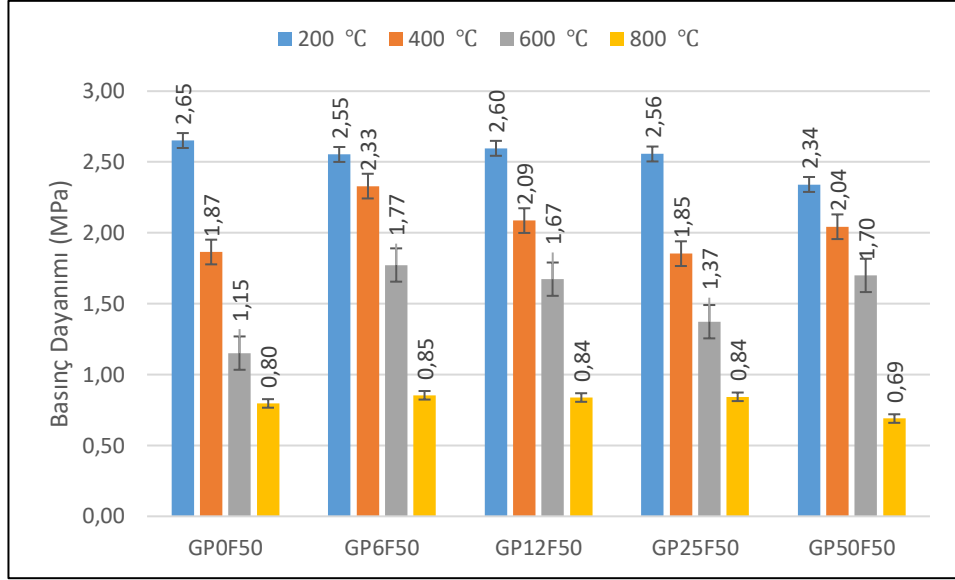


b)

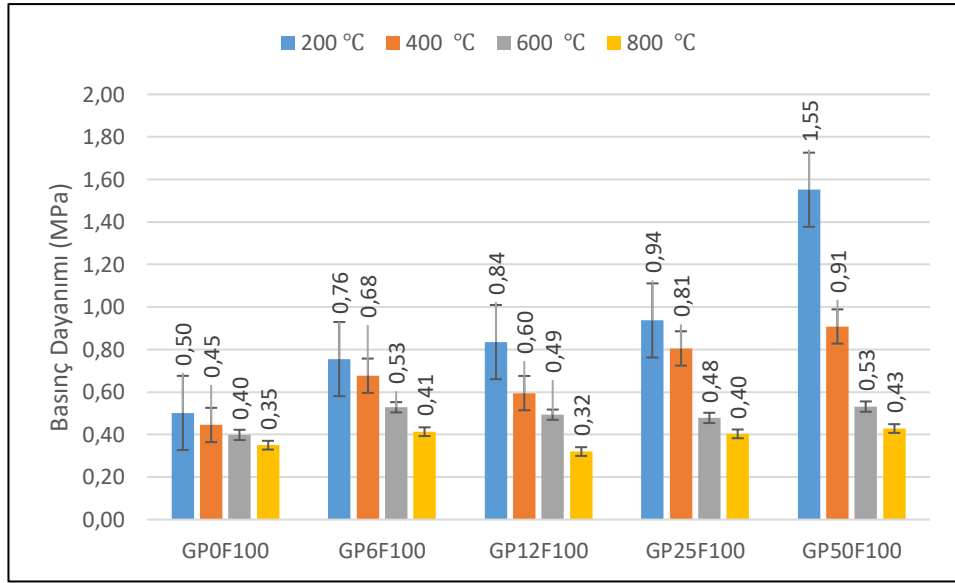
Şekil 4.20 Yüksek sıcaklık etkisine maruz bırakılan cam tozu bağlayıcılı karışımların hava soğutma sonrası UGH değişimi (km/s) a) Köpük oranı 50 kg/m³ b) Köpük oranı 100 kg/m³

Cam tozu ikameli 50 kg/m³ ve 100 kg/m³ köpük içerikli karışımlardan eğilme dayanımı alınamamıştır.

Şekil 4.21a'da cam tozu ikameli 50 kg/m³ köpük içeren karışımların havada kademeli soğutulduktan sonra basınç dayanımlarını gösterilmektedir. %0 cam tozu içeren karışım (GPOF50) referans olarak alındığında cam tozu oranı arttıkça basınç dayanımı 200°C'de %1,89-11,70 arasında azalma, 400°C'de cam tozu oranı %6,25, %12,5 ve %50 olan karışımlarda %9,10-24,60 arasında artış, cam tozu oranı %25 olan karışımında %1,07 azalma, 600°C'de %19,13-53,91 arasında artış ve 800°C'de cam tozu oranı %6,25, %12,5 ve %25 olan karışımlarda %5-6,25 arasında artış, cam tozu oranı %50 olan karışımında %13,75 azalma gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Şekil 4.21b'de 100 kg/m³ köpük içeren karışımlarda %0 cam tozu içeren karışım (GPOF100) referans olarak alındığında cam tozu oranı arttıkça basınç dayanımı 200°C'de %52-210, 400°C'de %33,33-102,22, 600°C'de %20-32,5 arasında artış gözlemlenirken 800°C'de cam tozu oranı %6,25, %25 ve %50 olan karışımlarda %14,29-22,86 arasında artış, cam tozu oranı %12,5 olan karışımında %8,57 azalma gözlemlenmiştir. Şekil 4.21'de görüldüğü gibi belirli bir köpük içeriği ve cam tozu için, sıcaklıktaki bir artış köpük betonun basınç dayanımında azalmaya neden olmuştur.



a)



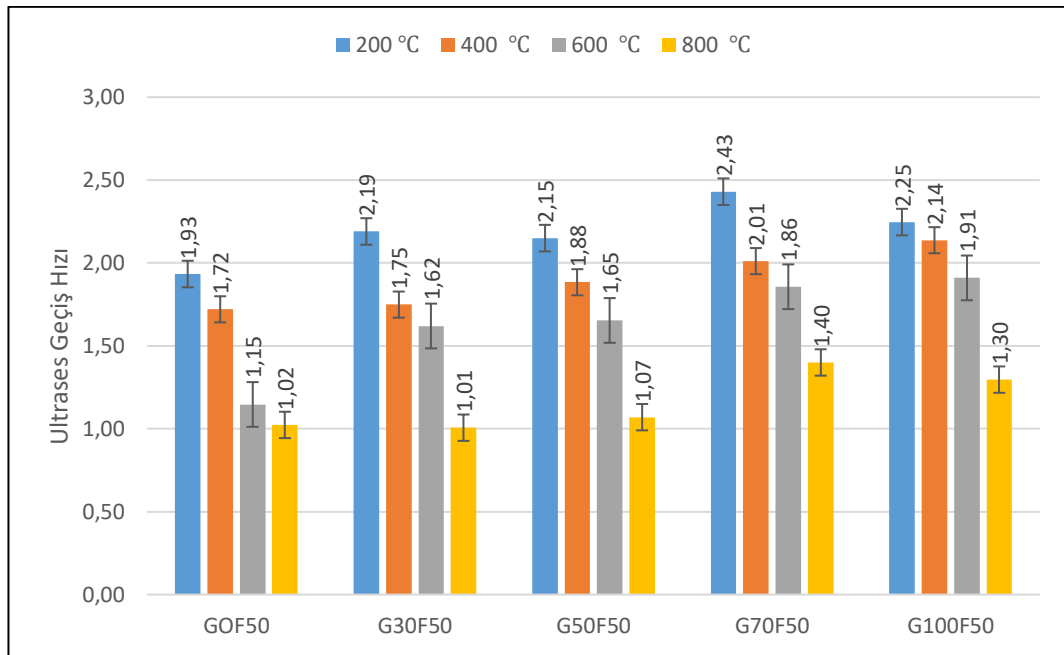
b)

Şekil 4.21 Yüksek sıcaklık etkisine maruz bırakılan cam tozu bağlayıcılı karışımların hava soğutma sonrası basınç dayanımları a) Köpük oranı 50 kg/m³ b) Köpük oranı 100 kg/m³

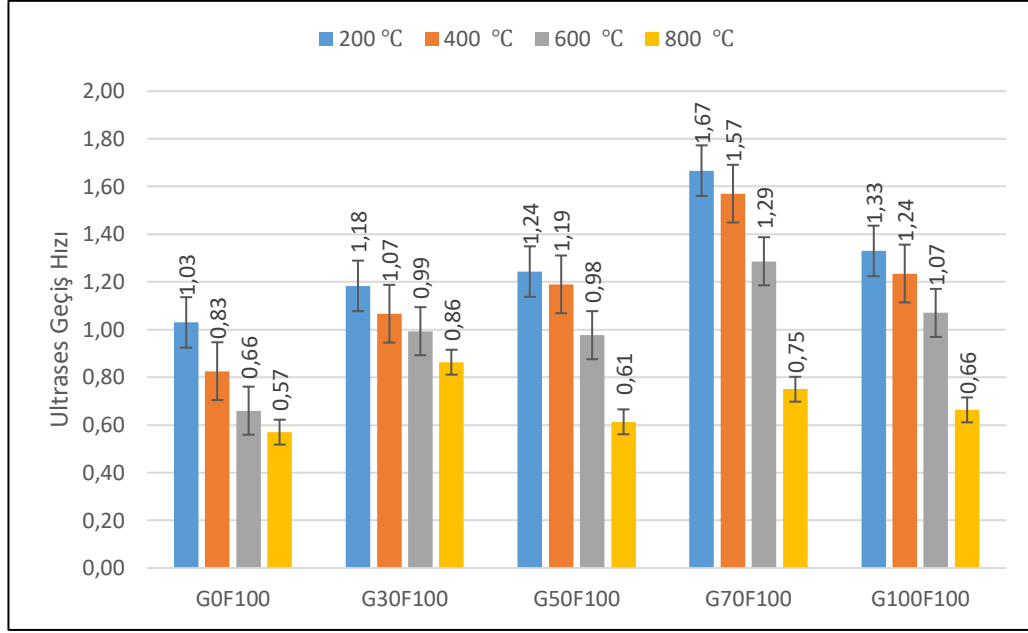
4.9.2 Su Soğutma

Şekil 4.22, 4.23ve 4.24'de 50 kg/m³ ve 100 kg/m³ köpük içeren cam agregalı karışımların 200°C, 400°C, 600°C ve 800°C sıcaklıklara maruz bırakıldıktan sonra su ile soğutulan farklı karışımların UGH değişimleri, basınç dayanımı ve eğilme dayanımı gösterilmektedir. Şekil 4.22a'da 50 kg/m³ köpük içeren karışımların suda soğutulduktan sonra UGH değişimleri gösterilmektedir. %0 cam agrega içeren karışım

(G0F50) referans olarak alındığında cam agrega oranı arttıkça UGH değişimi 200°C’de %11,40-25,90; 400°C’de %1,74-24,42; 600°C’de %40,87-66,09 arasında artış gözlemlenmiş ve 800°C’de %30 cam agrega içeren karışımda %0,98 azalma ve diğer karışımlarda %4,90-37,25 arasında artış gözlemlenmiştir. 100 kg/m³ köpük içeren karışımların UGH değişimleri şekil 4.22b’de görüldüğü gibi %0 cam agrega içeren karışım (G0F100) referans olarak alındığında cam agrega oranı arttıkça UGH değişimi 200°C’de %14,56-62,14; 400°C’de %28,92-89,16; 600°C’de %48,48-95,45 ve 800°C’de %7,02-50,88 arasında artış gözlemlenmiştir. Şekil 4.22’de belirli bir köpük ve cam agrega içeriği için sıcaklıktaki bir artışın köpük betonun UGH değerinde bir azalmaya yol açtığı şekilde görülebilir.



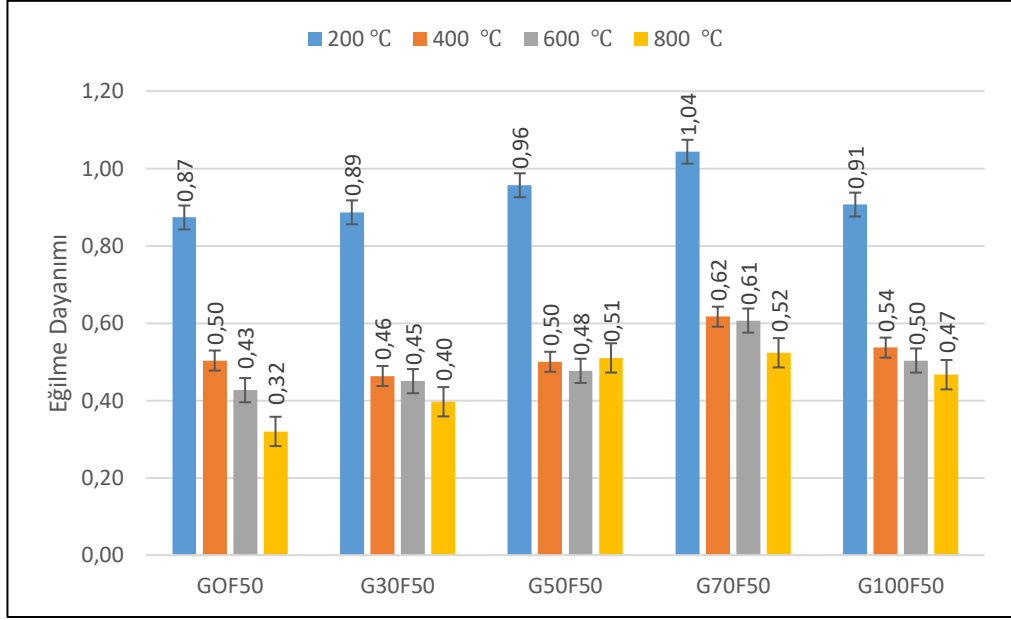
a)



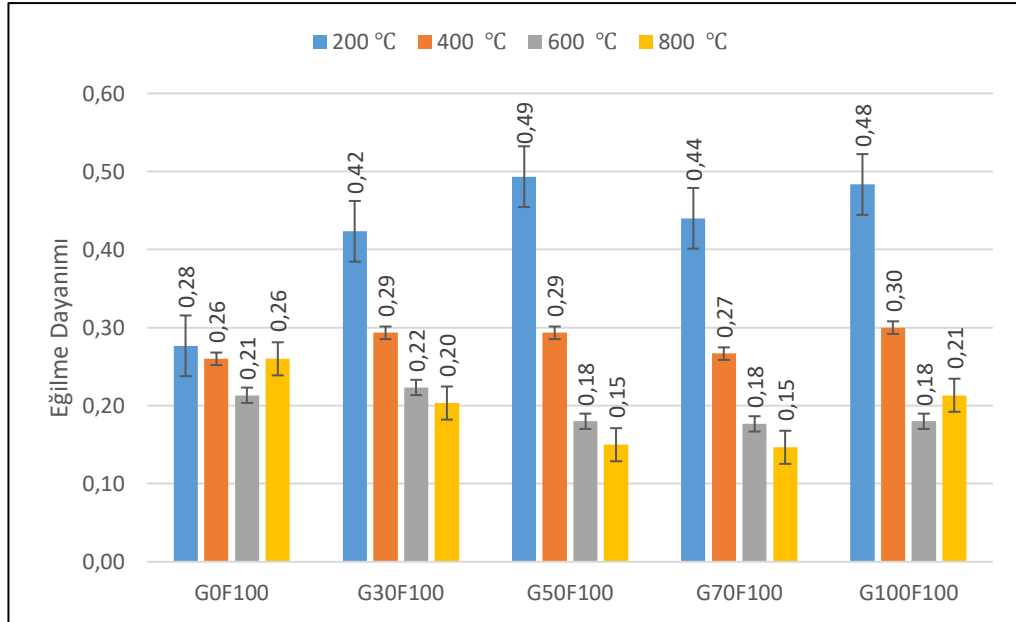
b)

Şekil 4.22 Yüksek sıcaklık etkisine maruz bırakılan cam agregalı karışımların su soğutma sonrası UGH değişimi (km/s) a) Köpük oranı 50 kg/m³ b) Köpük oranı 100 kg/m³

Şekil 4.23a'da 50 kg/m³ köpük içeren karışımların suda soğutulduktan sonra eğilme dayanımlarını gösterilmektedir. %0 cam agregası içeren karışım (G0F50) referans olarak alındığında cam agregası oranı arttıkça eğilme dayanımı 200°C'de %2,30-19,54 arasında bir artış gösterirken, 400°C'de %25-108,33; %30 cam agregası içeren karışımda %8 azalma diğer karışımlarda %8-24 arasında bir artış, 600°C'de %4,65-41,86 ve 800°C'de %25-62,50 arasında artış gözlemlenmiştir. Şekil 4.23b'de 100 kg/m³ köpük içeren karışımlarda %0 cam agregası içeren karışım (G0F100) referans olarak alındığında cam agregası oranı arttıkça eğilme dayanımı 200°C'de %50-75 arasında bir artış, 400°C'de %3,85-15,40 arasında artış gözlemlenirken, 600°C'de %30 cam agregası içeren karışımda %4,76 artış diğer karışımlarda %14,30 azalış ve 800°C'de %19,23-42,30 arasında bir azalış gözlemlenmiştir. Görüldüğü gibi belirli bir köpük içeriği ve cam agregası için, sıcaklıktaki bir artış köpük betonun eğilme dayanımında azalmaya neden olmuştur.



a)



b)

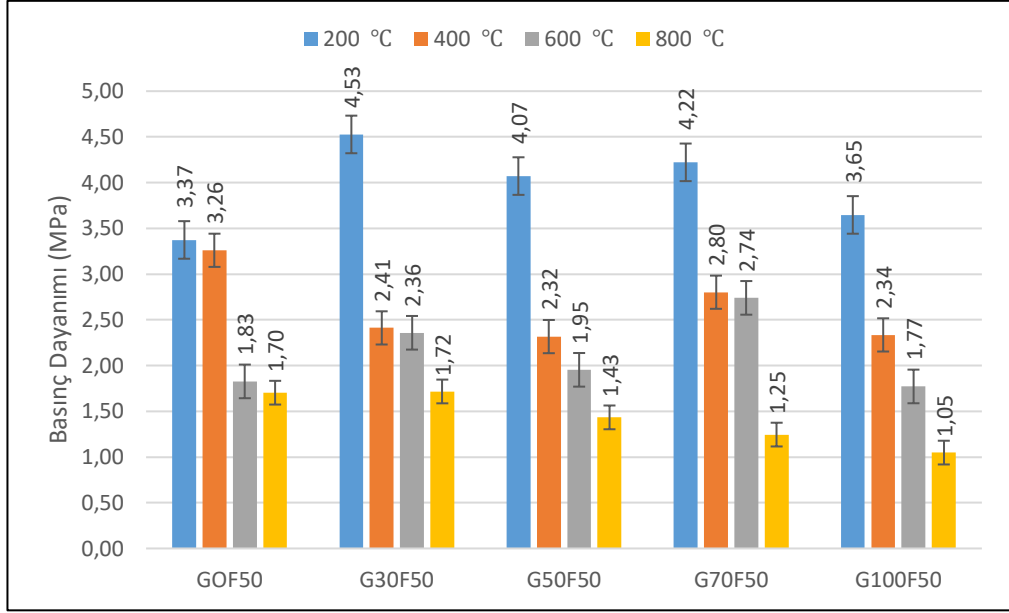
Şekil 4.23 Yüksek sıcaklık etkisine maruz bırakılan cam agregalı karışımların su soğutma sonrası eğilme dayanımları a) Köpük oranı 50 kg/m³ b) Köpük oranı 100 kg/m³

Şekil 4.24a'da 50 kg/m³ köpük içeren karışımların havada kademeli soğutulduktan sonra basınç dayanımlarını gösterilmektedir. %0 cam agregası içeren karışım (G0F50) referans olarak alındığında cam agregası oranı arttıkça basınç dayanımı 200°C'de %8,30-34,42 arasında artma, 400°C'de %14,11-28,83 arasında azalma, 600°C'de %30, %50 ve %70 cam agregası içeren karışım %6,55-49,73 arasında artma ve %100 cam agregası içeren karışımında %3,28 azalma ve 800°C'de %30 cam agregası içeren

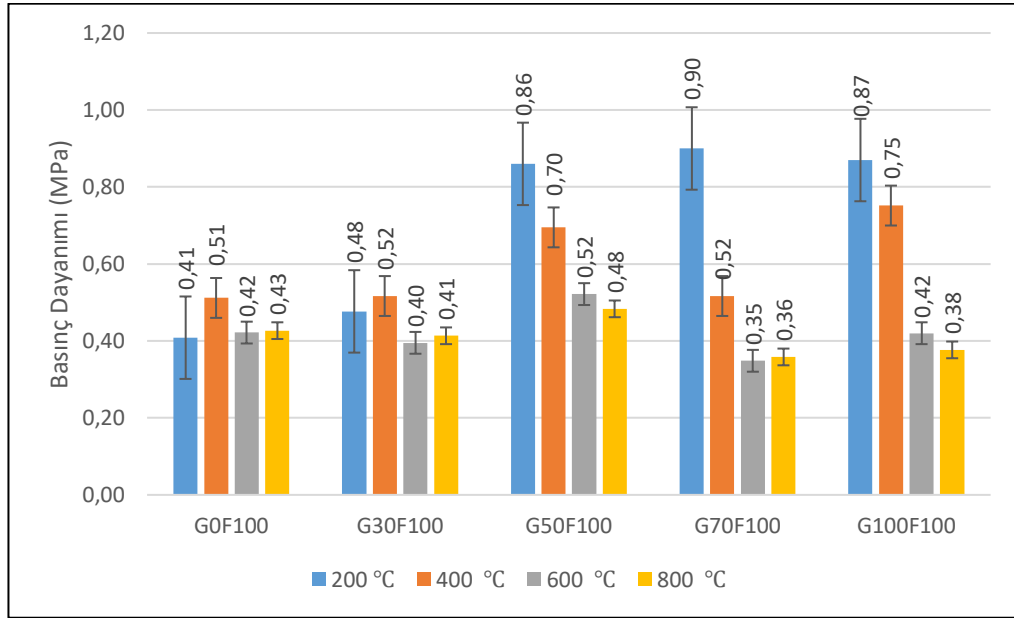
karışımında %1,18 artma ve diğer karışımlarda %15,88-38,24 arasında azalma gözlemlenmiştir.

Şekil 4.24b'de 100 kg/m^3 köpük içeren karışımlarda %0 cam agregaya içeren karışım (G0F100) referans olarak alındığında cam agregaya oranı arttıkça basınç dayanımı 200°C 'de %17,1-112,2 arasında artma, 400°C 'de %1,96-47,06 arasında artma, 600°C 'de %30 cam agregaya içeren karışımında %4,76 azalış, %50 cam agregaya içeren karışımında %23,81 artış, %70 cam agregaya içeren karışımında %16,67 azalış ve %100 cam agregaya içeren karışım referans ile aynı değeri vermiştir ve 800°C 'de sırasıyla %30-70-100 cam agregaya içeren karışım %4,65-27,92-23,25 azalış ve %50 cam agregaya içeren karışımında %11,63 artış gözlemlenmiştir. Şekil 4.24'de görüldüğü gibi belirli bir köpük içeriği ve cam agregaya için, sıcaklıktaki bir artış köpük betonun basınç dayanımında azalmaya neden olmuştur. Karışımlarda köpük içeriğinin 50 kg/m^3 'den 100 kg/m^3 'ten artması, ortalama olarak basınç ve eğilme dayanımında sırasıyla %60 ve %52 azalmaya neden olmuştur.

Ayrıca %100 cam agregaya içeren ve 800°C 'ye maruz bırakılan 50 kg/m^3 ve 100 kg/m^3 köpük içerikli karışımlar, %100 genleştirilmiş perlit içeren karışımlara göre yaklaşık %79 daha yüksek basınç ve yaklaşık %66 eğilme dayanımı sergilediği gözlemlenmiştir. Yüksek sıcaklıklarda daha yüksek cam agregaya içeriği içeren karışımların daha yüksek dayanım sergilemesi, genleştirilmiş perlite kıyasla camın daha yüksek sıcaklık direncinden kaynaklanıyor olabilir.



a)

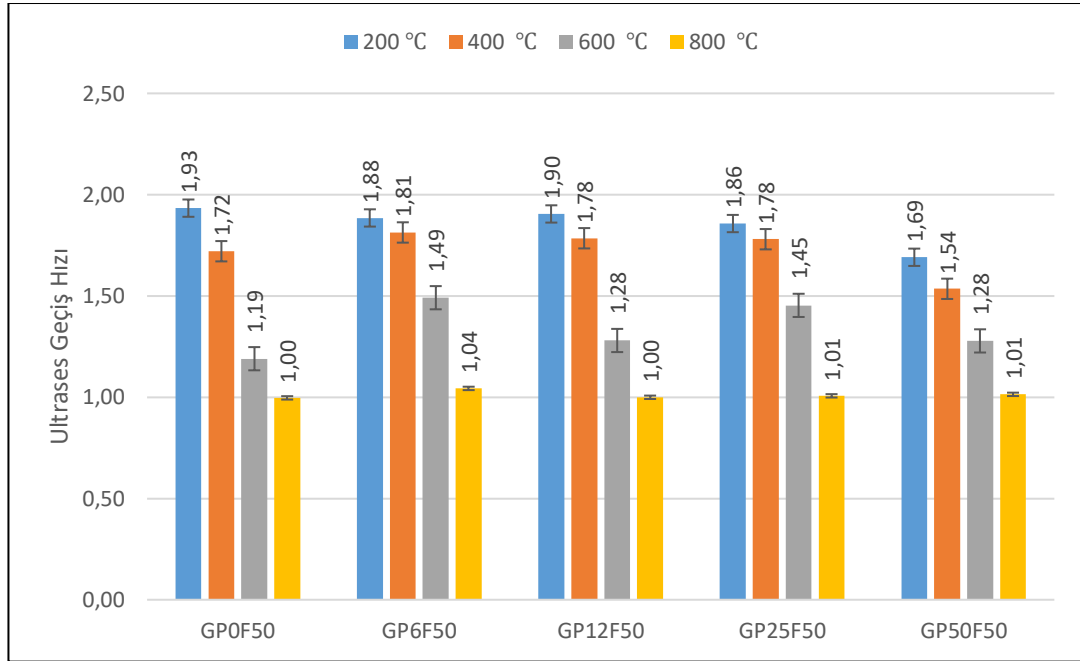


b)

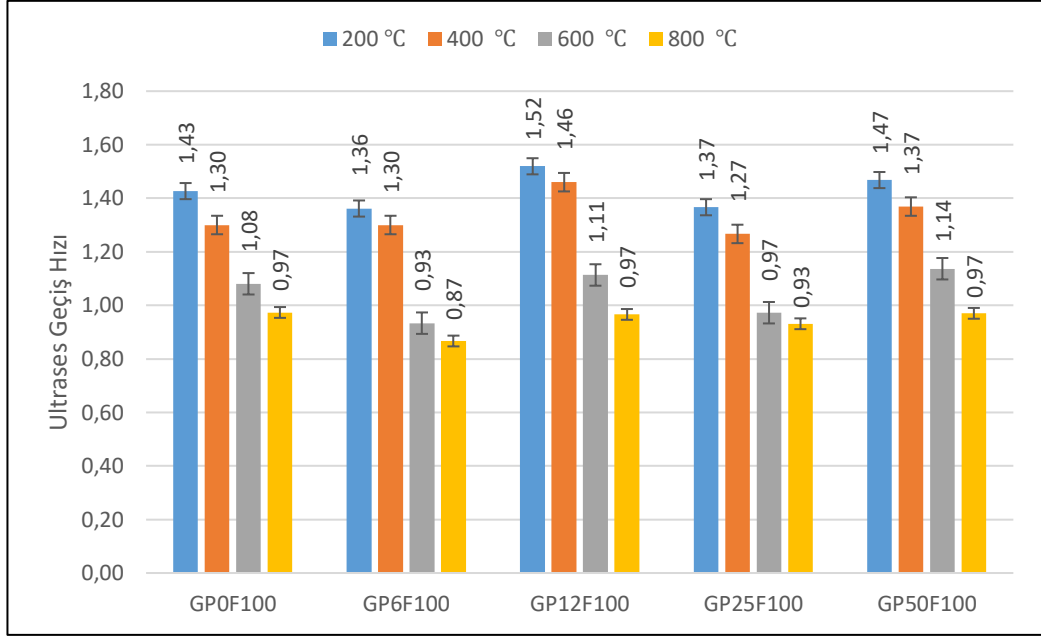
Şekil 4.24 Yüksek sıcaklık etkisine maruz bırakılan cam agregalı karışımların su soğutma sonrası basınç dayanımları a) Köpük oranı 50 kg/m³ b) Köpük oranı 100 kg/m³

Şekil 4.25 ve 4.26'da 50 kg/m³ ve 100 kg/m³ köpük içeren cam tozu ikameli karışımların 200°C, 400°C, 600°C ve 800°C sıcaklıklara maruz bırakıldıktan sonra su ile soğutulan farklı karışımların UGH değişimleri, basınç dayanımı ve eğilme dayanımı gösterilmektedir. Şekil 4.25a'da 50 kg/m³ köpük içeren karışımların suda soğutulduktan sonra UGH değişimleri gösterilmektedir. %0 cam tozu içeren karışım (GP0F50) referans olarak alındığında cam tozu oranı arttıkça UGH değişimi 200°C'de

%3,72-18; 400°C’de %0,72-4,38; 600°C’de %0,76-14,4; ve 800°C’de %8,77-21,93 arasında azalış gözlemlenmiştir. 100 kg/m³ köpük içeren karışımların UGH değişimleri şekil 4.25b’de görüldüğü gibi %0 cam tozu içeren karışım (GP0F100) referans olarak alındığında cam tozu oranı arttıkça UGH değişimi %6,25 cam tozu içeren karışımlarda 200°C’de %2,24; 600°C’de %1,04 ve 800°C’de %1,28 oranında azalma diğer karışımlarda 200°C’de %8,21-14,93; 400°C’de %6,8-1,94; 600°C’de %1,04-5,21 ve 800°C’de %5,13-15,38 oranları arasında artış gözlemlenmiştir. Şekil 4.25’de 50 kg/m³ köpük içeren karışımlarda artan cam tozu içeriği ve sıcaklıktaki bir artışın köpük betonun UGH değerinde bir azalmaya yol açtığı şekilde görülebilir. 100 kg/m³ köpük içeren karışımlarda artan cam tozu içeriği ve sıcaklıktaki bir artışın köpük betonun UGH değerinde bir artışa yol açtığı şekilde görülebilir.



a)

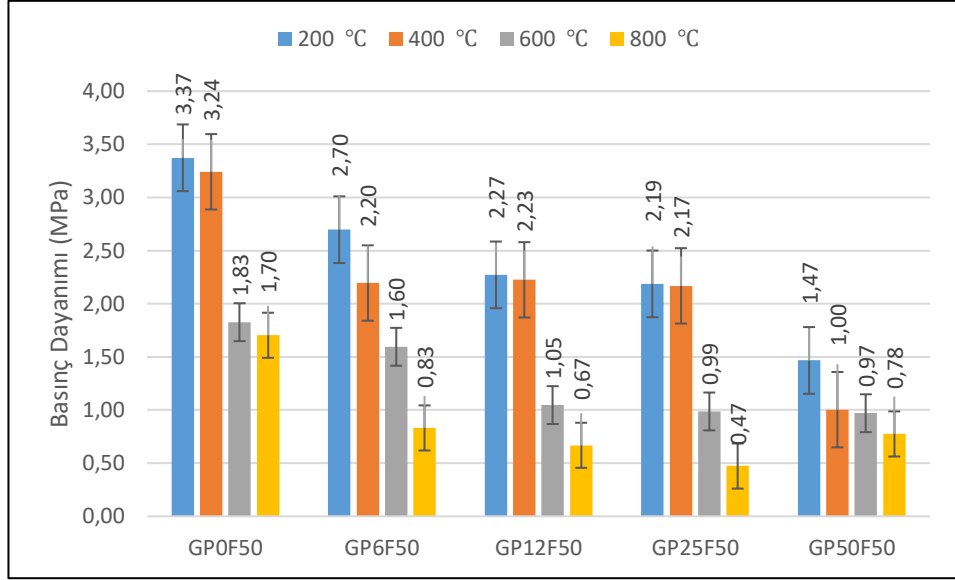


b)

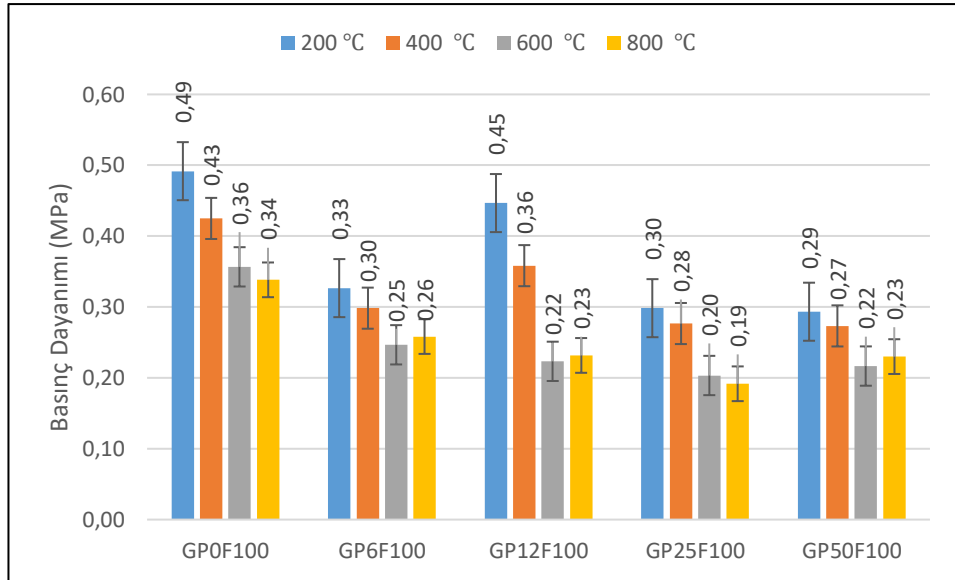
Şekil 4.25 Yüksek sıcaklık etkisine maruz bırakılan cam tozu bağlayıcılı karışımların su soğutma sonrası UGH değişimi (km/s) a) Köpük oranı 50 kg/m³ b) Köpük oranı 100 kg/m³

Cam tozu ikameli 50 kg/m³ ve 100 kg/m³ köpük içerikli karışımlardan eğilme dayanımı alınamamıştır.

Şekil 4.26a'da cam tozu ikameli 50 kg/m³ köpük içeren karışımların su ile soğutulduktan sonra basınç dayanımlarını gösterilmektedir. %0 cam tozu içeren karışım (GP0F50) referans olarak alındığında cam tozu oranı arttıkça basınç dayanımı 200°C'de %19,88-56,38 arasında azalma, 400°C'de %31,17-69,14 arasında azalma, 600°C'de %12,57-46,99 arasında azalma ve 800°C'de %51,17-72,35 arasında azalma gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Şekil 4.26b'de 100 kg/m³ köpük içeren karışımlarda %0 cam tozu içeren karışım (GP0F100) referans olarak alındığında cam tozu oranı arttıkça basınç dayanımı 200°C'de %8,16-40,81 arasında azalma, 400°C'de %16,28-32,21 arasında azalma, 600°C'de %30,56-44,44 arasında azalma ve 800°C'de %23,53-44,12 arasında azalma gözlemlenmiştir. Şekil 4.26'de görüldüğü gibi belirli bir köpük içeriği ve cam tozu için, sıcaklıktaki bir artış köpük betonun basınç dayanımında azalmaya neden olmuştur.



a)



b)

Şekil 4.26 Yüksek sıcaklık etkisine maruz bırakılan cam tozu bağlayıcılı karışımların su soğutma sonrası basınç dayanımları a) Köpük oranı 50 kg/m³ b) Köpük oranı 100 kg/m³

4.10 Donma Çözülme

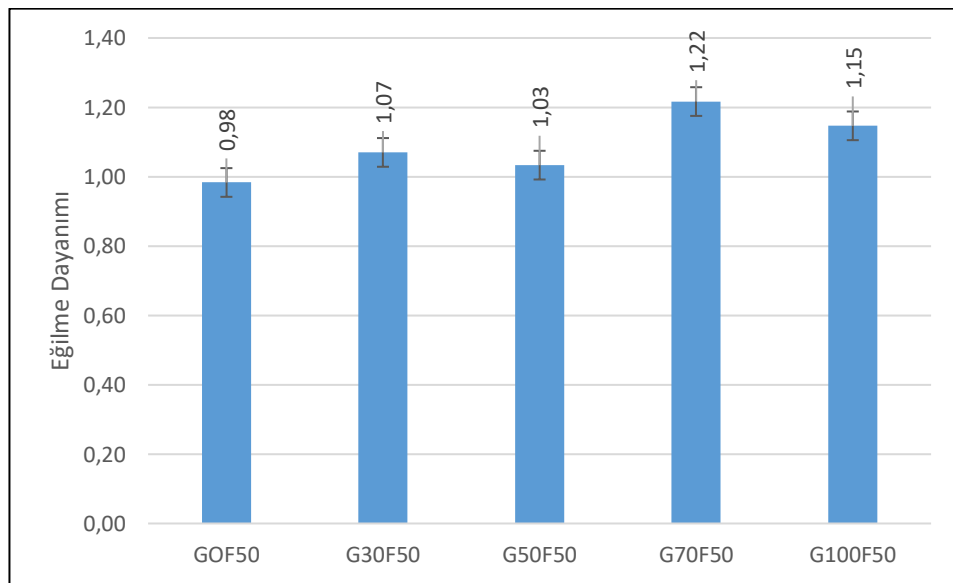
Üretilen köpük betonların donma çözülme dayanıklılığını ölçmek amacıyla -20°C'de 420 dakika donma, ortam sıcaklığında 300 dakika çözülmeye bırakılarak donma çözülme deneyi gerçekleştirilmiştir.

Şekil 4.29a, 50 kg/m³ köpük içeriklerindeki cam agrega ikameli numunelerin donma-çözülme sonrası eğilme dayanımlarını göstermektedir. 50 kg/m³ köpük içeriğindeki

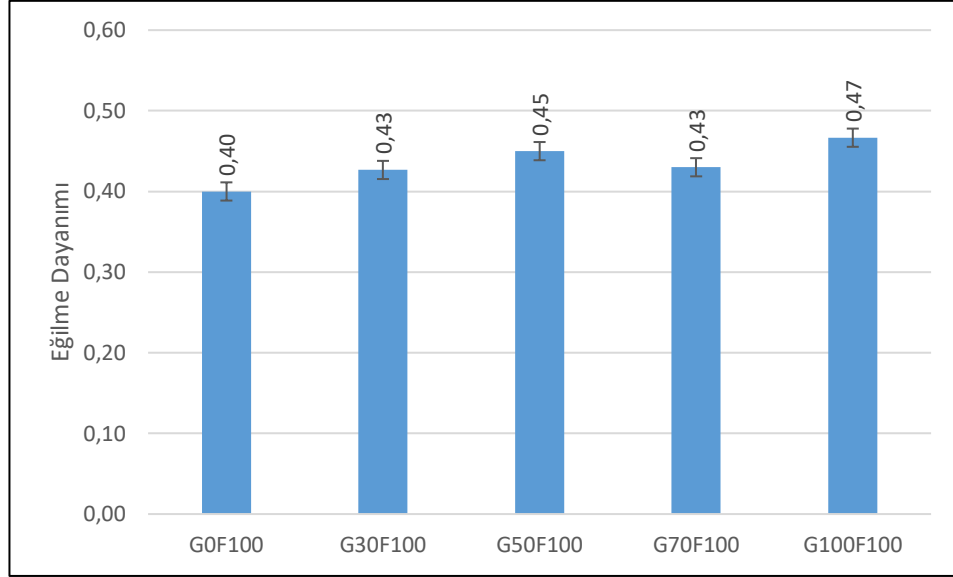
%70 cam agrega ilaveli G70F50 numuneleri 1,22 MPa ile en yüksek eğilme dayanımını göstermiş ve %0 cam agrega ilaveli G0F50 numuneleri 0,98 MPa ile en düşük eğilme dayanımı göstermiştir. %0 cam agrega içeren G0F50 numunesinin eğilme dayanımı referans olarak alındığında %30 cam agrega içeren G30F50 numunesi %9 artmış, %50 cam agrega içeren G50F50 numunesi %5 artmış, %70 cam agrega içeren G70F50 numunesi %24 artmış ve %100 cam agregası içeren G100F50 numunesi ise %17 artmıştır.

Şekil 4.29b, 100 kg/m³ köpük içeriklerindeki cam agrega ikameli numunelerin donma-çözülme sonrası eğilme dayanımlarını göstermektedir. 100 kg/m³ köpük içeriğindeki %100 cam agrega ilaveli G100F100 numuneleri 0,47 MPa ile en yüksek eğilme dayanımını göstermiş ve %0 cam agrega ilaveli G0F100 numuneleri 0,40 MPa ile en düşük eğilme dayanımı göstermiştir. %0 cam agrega içeren G0F100 numunesinin eğilme dayanımı referans olarak alındığında %30 cam agrega içeren G30F100 numunesi %7,5 artmış, %50 cam agrega içeren G50F100 numunesi %12,5 artmış, %70 cam agrega içeren G70F100 numunesi %7,5 artmış ve %100 cam agregası içeren G100F100 numunesi ise %17,5 artmıştır.

50 kg/m³ ve 100 kg/m³ köpük içeriklerindeki numuneler beraber incelendiğinde cam agregası içermeyen numunelerin, cam agrega içeren numunelere göre daha az eğilme dayanımı gösterdiği gözlenmiştir.



a)



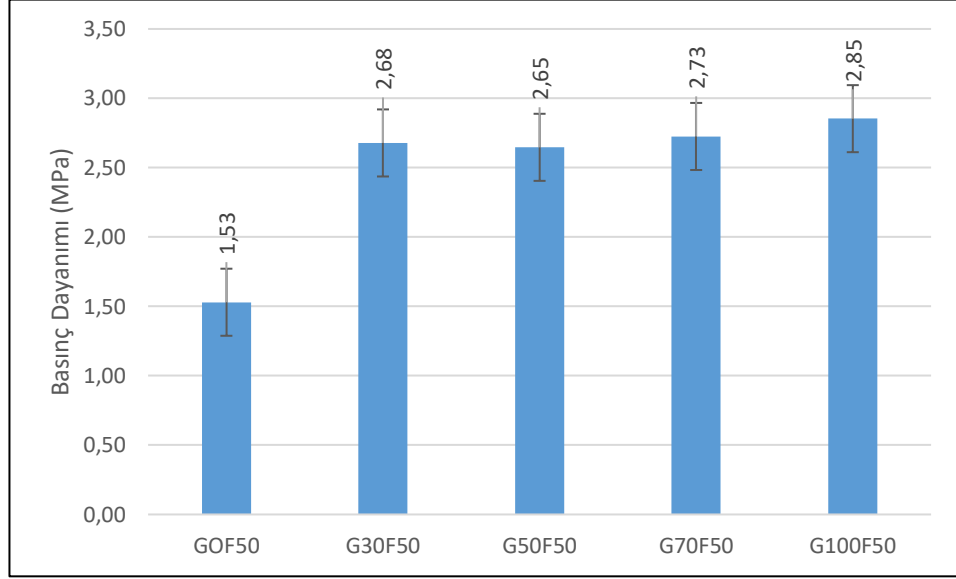
b)

Şekil 4.27 Donma-çözünme etkisine maruz bırakılan cam agregalı karışımların eğilme dayanımları a) Köpük oranı 50 kg/m³ b) Köpük oranı 100 kg/m³

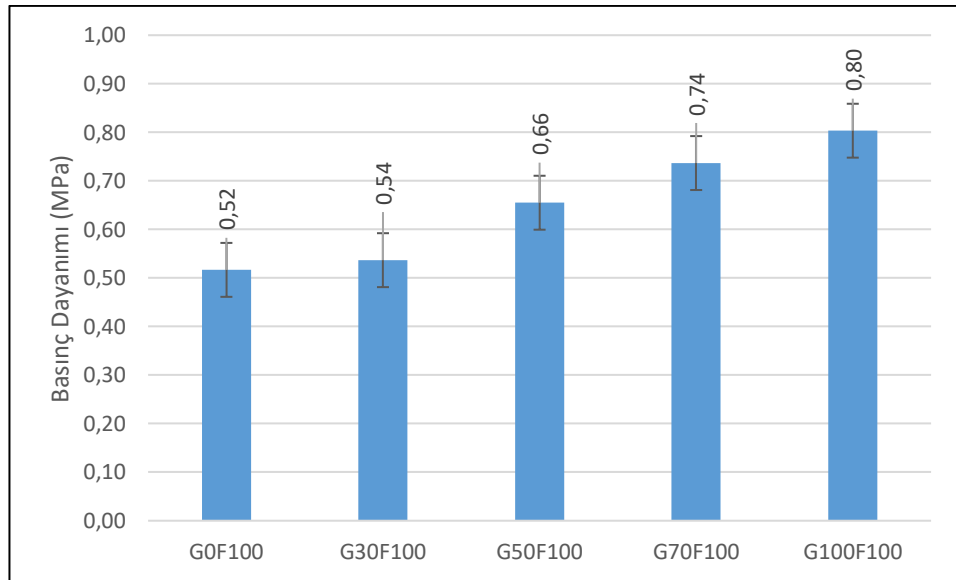
Şekil 4.30a, 50 kg/m³ köpük içeriklerindeki cam agregası ikameli numunelerin donma-çözülme sonrası basınç dayanımlarını göstermektedir. 50 kg/m³ köpük içeriğindeki %100 cam agregası ilaveli G100F50 numuneleri 2,85 MPa ile en yüksek basınç dayanımını göstermiş ve %0 cam agregası ilaveli G0F50 numuneleri 1,53 MPa ile en düşük basınç dayanımını göstermiştir. %0 cam agregası içeren G0F50 numunesinin basınç dayanımını referans olarak alındığında %30 cam agregası içeren G30F50 numunesi %75 artmış, %50 cam agregası içeren G50F50 numunesi %73 artmış, %70 cam agregası içeren G70F50 numunesi %78 artmış ve %100 cam agregası içeren G100F50 numunesi ise %86 artmıştır.

Şekil 4.30b, 100 kg/m³ köpük içeriklerindeki cam agregası ikameli numunelerin donma-çözülme sonrası basınç dayanımlarını göstermektedir. 100 kg/m³ köpük içeriğindeki %100 cam agregası ilaveli G100F100 numuneleri 0,80 MPa ile en yüksek basınç dayanımını göstermiş ve %0 cam agregası ilaveli G0F100 numuneleri 0,52 MPa ile en düşük basınç dayanımını göstermiştir. %0 cam agregası içeren G0F100 numunesinin basınç dayanımını referans olarak alındığında %30 cam agregası içeren G30F100 numunesi %3,86 artmış, %50 cam agregası içeren G50F100 numunesi %27 artmış, %70 cam agregası içeren G70F100 numunesi %42 artmış ve %100 cam agregası içeren G100F100 numunesi ise %53,8 artmıştır.

50 kg/m³ ve 100 kg/m³ köpük içeriklerindeki numuneler beraber incelendiğinde köpük içeriği düşük olan numunelerin daha yüksek basınç dayanımı gösterdiği gözlenmiştir. Karışım içerisindeki cam agrega oranının artması basınç dayanımını da pozitif yönde etkilediği gözlenmiştir.



a)



b)

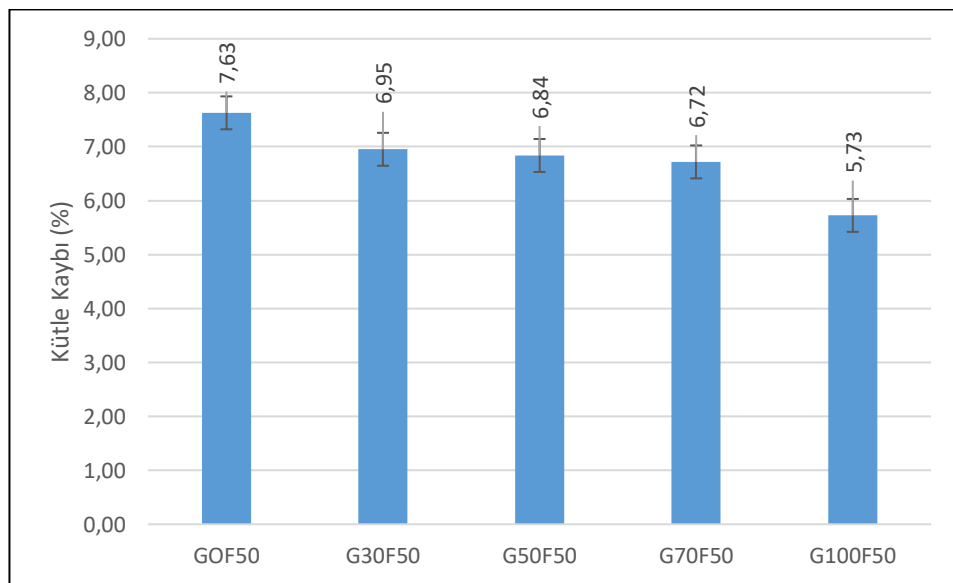
Şekil 4.28 Donma-çözünme etkisine maruz bırakılan cam agregalı karışımların basınç dayanımları a) Köpük oranı 50 kg/m³ b) Köpük oranı 100 kg/m³

Şekil 4.31a, 50 kg/m³ köpük içeriklerindeki cam agrega ikameli numunelerin donma-çözülme sonrası % olarak ağırlık kayıplarını göstermektedir. 50 kg/m³ köpük

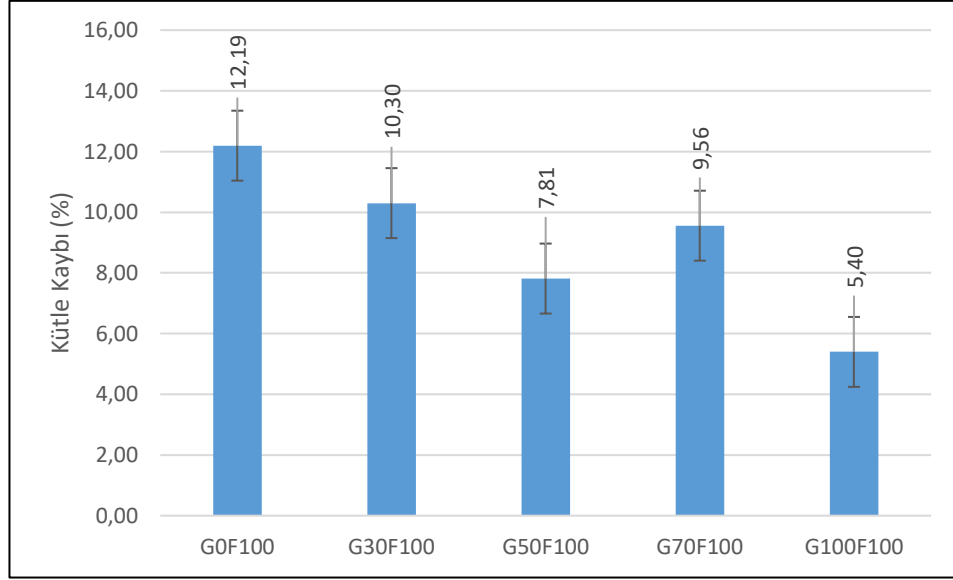
içeriğindeki %0 cam agrega ilaveli G0F50 numuneleri %7,63 ile en yüksek kütle kaybını göstermiş ve %100 cam agrega ilaveli G100F50 numuneleri %5,73 ile en düşük kütle kaybını göstermiştir. %0 cam agrega içeren G0F50 numunesinin kütle kaybı referans olarak alındığında %30 cam agrega içeren G30F50 numunesi %9 daha az, %50 cam agrega içeren G50F50 numunesi %10 daha az, %70 cam agrega içeren G70F50 numunesi %12 daha az ve %100 cam agregası içeren G100F50 numunesi ise %25 daha az kütle kaybettiği gözlenmiştir.

Şekil 4.31b, 100 kg/m³ köpük içeriklerindeki cam agrega ikameli numunelerin donma-çözülme sonrası % olarak ağırlık kayıplarını göstermektedir. 100 kg/m³ köpük içeriğindeki %0 cam agrega ilaveli G0F100 numuneleri %12,19 ile en yüksek kütle kaybını göstermiş ve %100 cam agrega ilaveli G100F100 numuneleri %5,40 ile en düşük kütle kaybını göstermiştir. %0 cam agrega içeren G0F100 numunesinin kütle kaybı referans olarak alındığında %30 cam agrega içeren G30F100 numunesi %15 daha az, %50 cam agrega içeren G50F100 numunesi %36 daha az, %70 cam agrega içeren G70F100 numunesi %21 daha az ve %100 cam agregası içeren G100F100 numunesi ise %56 daha az kütle kaybettiği gözlenmiştir.

50 kg/m³ ve 100 kg/m³ köpük içeriklerindeki numuneler beraber incelendiğinde cam agrega ilaveli numunelerin daha az kütle kaybettiği gözlenmiştir.



a)



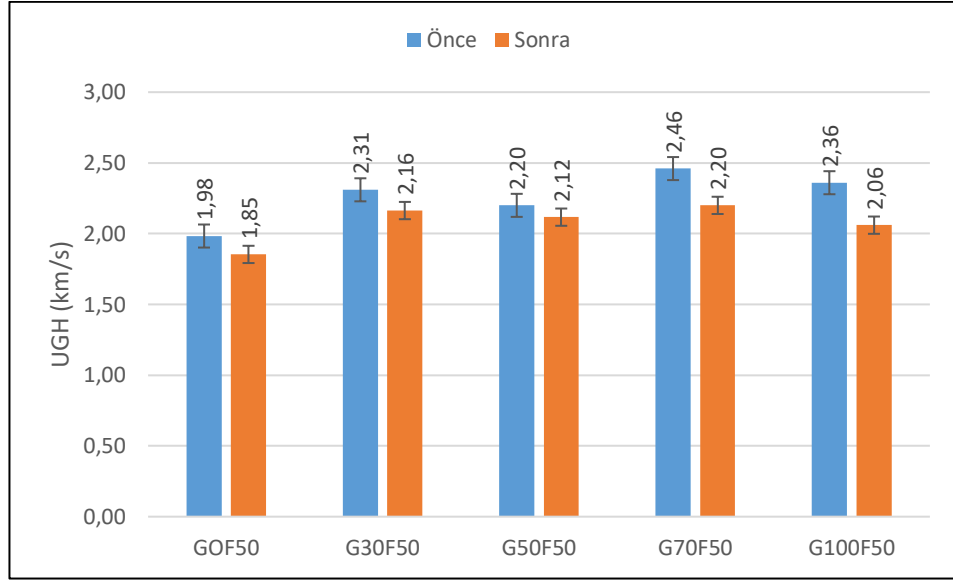
b)

Şekil 4.29 Donma-çözünme etkisine maruz bırakılan cam agregalı karışımların kütle kaybı oranları a) Köpük oranı 50 kg/m³ b) Köpük oranı 100 kg/m³

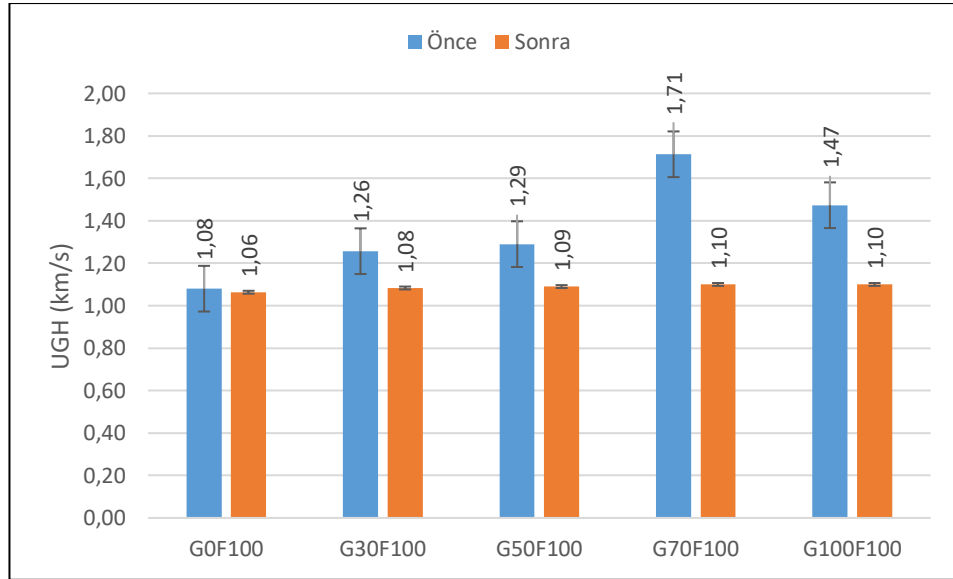
Şekil 4.32a, 50 kg/m³ köpük içeriklerindeki cam agregalı ikameli numunelerin donma-çözülme öncesi ve sonrası UGH'larını göstermektedir. 50 kg/m³ köpük içeriğindeki G0F50 numunesi UGH değişimi 0,13 km/s, G30F50 numunesi UGH değişimi 0,15; G50F50 numunesi UGH değişimi 0,08 km/s, G70F50 numunesi UGH değişimi 0,26 km/s, G100F50 numunesi UGH değişimi 0,3 km/s olarak gözlenmiştir. %100 cam agregalı ilaveli G100F50 numuneleri 0,30 km/s ile en yüksek UGH değişimi göstermiş ve %50 cam agregalı ilaveli G50F50 numuneleri 0,08 km/s ile en düşük UGH değişimini göstermiştir. %0 cam agregalı içeren G0F50 numunesinin UGH referans olarak alındığında %30 cam agregalı içeren G30F50 numunesi %15 daha çok, %50 cam agregalı içeren G50F50 numunesi %38 daha az, %70 cam agregalı içeren G70F50 numunesi %100 daha çok ve %100 cam agregası içeren G100F50 numunesi ise %130 daha çok UGH değişimi gösterdiği gözlenmiştir.

Şekil 4.32b, 100 kg/m³ köpük içeriklerindeki cam agregalı ikameli numunelerin donma-çözülme öncesi ve sonrası UGH'larını göstermektedir. 100 kg/m³ köpük içeriğindeki G0F100 numunesi UGH değişimi 0,02 km/s, G30F100 numunesi UGH değişimi 0,18; G50F100 numunesi UGH değişimi 0,20 km/s, G70F100 numunesi UGH değişimi 0,61 km/s, G100F100 numunesi UGH değişimi 0,37 km/s olarak gözlenmiştir. %70 cam agregalı ilaveli G70F100 numuneleri 0,61 km/s ile en yüksek UGH değişimi göstermiş ve %0 cam agregalı ilaveli G0F100 numuneleri 0,02 km/s ile en düşük UGH değişimini

göstermiştir. %0 cam agrega içeren G0F100 numunesinin UGH referans olarak alındığında %30 cam agrega içeren G30F100 numunesi %800 daha çok, %50 cam agrega içeren G50F100 numunesi %900 daha çok, %70 cam agrega içeren G70F100 numunesi %2950 daha çok ve %100 cam agregası içeren G100F100 numunesi ise %1750 daha çok UGH değişimi gösterdiği gözlenmiştir.



a)



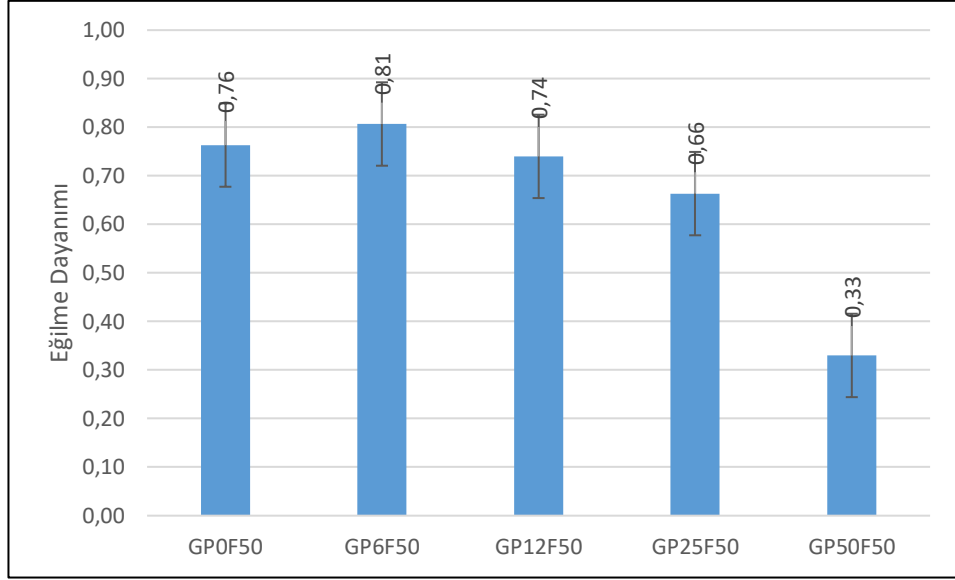
b)

Şekil 4.30 Donma-çözünme etkisine maruz bırakılan cam agregalı karışımların UGH değişimi (km/s) a) Köpük oranı 50 kg/m³ b) Köpük oranı 100 kg/m³

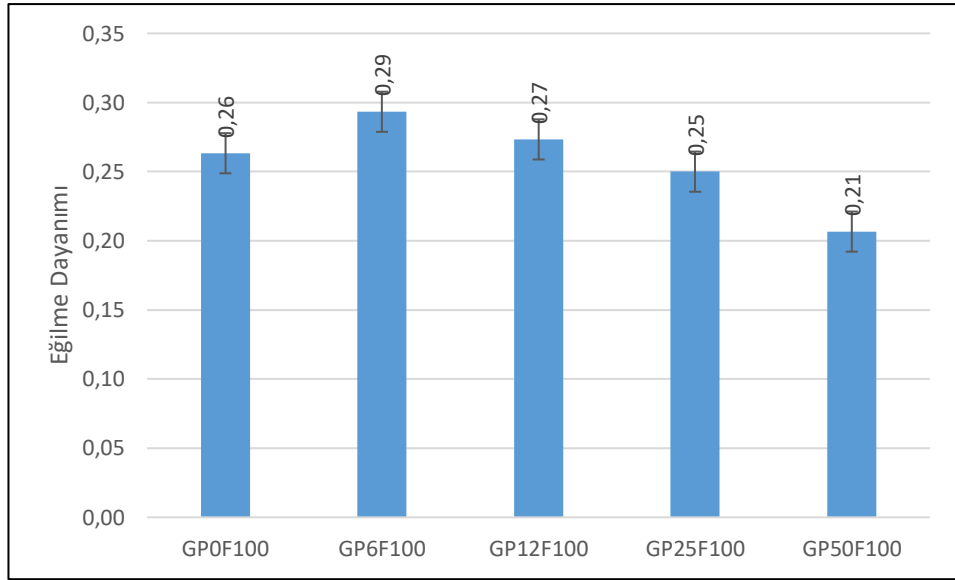
Şekil 4.33a, 50 kg/m³ köpük içeriklerindeki cam tozu bağlayıcı ikameli numunelerin donma-çözülme sonrası eğilme dayanımlarını göstermektedir. 50 kg/m³ köpük içeriğindeki %30 cam tozu bağlayıcı ilaveli GP6F50 numuneleri 0,81 MPa ile en yüksek eğilme dayanımını göstermiş ve %100 cam tozu bağlayıcı ilaveli GP50F50 numuneleri 0,33 MPa ile en düşük eğilme dayanımı göstermiştir. %0 cam tozu bağlayıcı içeren GP0F50 numunesinin eğilme dayanımı referans olarak alındığında %30 cam tozu bağlayıcı içeren GP6F50 numunesi %6,5 artmış, %50 cam tozu bağlayıcı içeren GP12F50 numunesi %2,6 azalmış, %70 cam tozu bağlayıcı içeren GP25F50 numunesi %10 azalmış ve %100 cam tozu bağlayıcı içeren GP50F50 numunesi ise %56,5 azalmıştır.

Şekil 4.33b, 100 kg/m³ köpük içeriklerindeki cam tozu bağlayıcı ikameli numunelerin donma-çözülme sonrası eğilme dayanımlarını göstermektedir. 100 kg/m³ köpük içeriğindeki %30 cam tozu bağlayıcı ilaveli GP6F100 numuneleri 0,29 MPa ile en yüksek eğilme dayanımını göstermiş ve %100 cam tozu bağlayıcı ilaveli GP50F100 numuneleri 0,21 MPa ile en düşük eğilme dayanımı göstermiştir. %0 cam tozu bağlayıcı içeren GP0F100 numunesinin eğilme dayanımı referans olarak alındığında %30 cam tozu bağlayıcı içeren GP6F100 numunesi %11,5 artmış, %50 cam tozu bağlayıcı içeren GP12F100 numunesi %4 artmış, %70 cam tozu bağlayıcı içeren GP25050 numunesi %4 azalmış ve %100 cam tozu bağlayıcı içeren GP50F100 numunesi ise %19 azalmıştır.

50 kg/m³ ve 100 kg/m³ köpük içeriklerindeki numuneler beraber incelendiğinde köpük içeriğinin artması eğilme dayanımını düşürmüştür. Her iki köpük oranında %0 ve %50 oranlar incelendiğinde cam tozu bağlayıcılı olan numunelerin daha düşük eğilme dayanımı gösterdiği gözlenmiştir.



a)



b)

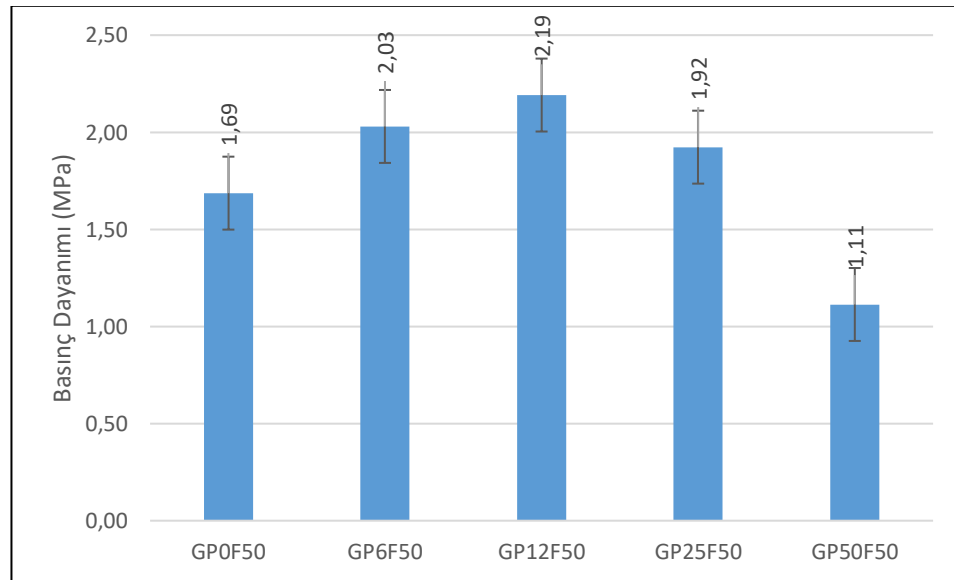
Şekil 4.31 Donma-çözünme etkisine maruz bırakılan cam tozu bağlayıcılı karışımların eğilme dayanımları a) Köpük oranı 50 kg/m³ b) Köpük oranı 100 kg/m³

Şekil 4.34a, 50 kg/m³ köpük içeriklerindeki cam tozu bağlayıcı ikameli numunelerin donma-çözülme sonrası basınç dayanımlarını göstermektedir. 50 kg/m³ köpük içeriğindeki %12,5 cam tozu bağlayıcı ilaveli GP12F50 numuneleri 2,19 MPa ile en yüksek basınç dayanımını göstermiş ve %50 cam tozu bağlayıcı ilaveli GP50F50 numuneleri 1,11 MPa ile en düşük basınç dayanımı göstermiştir. %0 cam tozu bağlayıcı içeren GP0F50 numunesinin basınç dayanımı referans olarak alındığında %6,25 cam tozu bağlayıcı içeren GP6F50 numunesi %20 artmış, %12,5 cam tozu

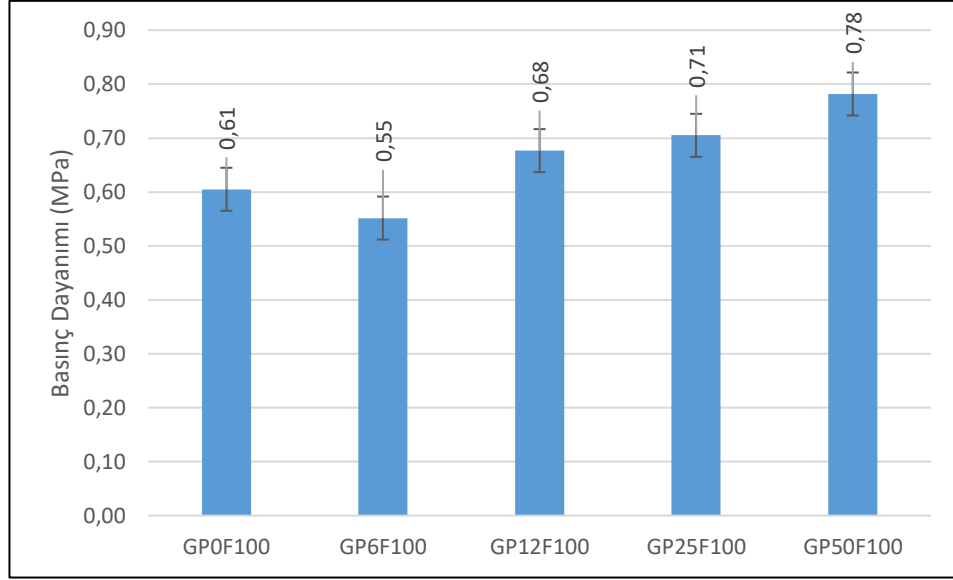
bağlayıcı içeren GP12F50 numunesi %29,5 artmış, %25 cam tozu bağlayıcı içeren GP25F50 numunesi %13,6 artmış ve %50 cam tozu bağlayıcı içeren GP50F50 numunesi ise %34 azalmıştır.

Şekil 4.34b, 100 kg/m³ köpük içeriklerindeki cam tozu bağlayıcı ikameli numunelerin donma-çözülme sonrası basınç dayanımlarını göstermektedir. 100 kg/m³ köpük içeriğindeki %50 cam tozu bağlayıcı ilaveli GP50F100 numuneleri 0,78 MPa ile en yüksek basınç dayanımını göstermiş ve %6,25 cam tozu bağlayıcı ilaveli GP6F100 numuneleri 0,55 MPa ile en düşük basınç dayanımı göstermiştir. %0 cam tozu bağlayıcı içeren GP0F100 numunesinin basınç dayanımı referans olarak alındığında %6,25 cam tozu bağlayıcı içeren GP6F100 numunesi %9,8 azalmış, %12,5 cam tozu bağlayıcı içeren GP12F100 numunesi %11 artmış, %25 cam tozu bağlayıcı içeren GP25F100 numunesi %16 artmış ve %50 cam tozu bağlayıcı içeren GP50F100 numunesi ise %27,8 artmıştır.

50 kg/m³ ve 100 kg/m³ köpük içeriklerindeki numuneler beraber incelendiğinde köpük içeriği düşük olan numunelerin daha yüksek basınç dayanımı gösterdiği gözlenmiştir.



a)



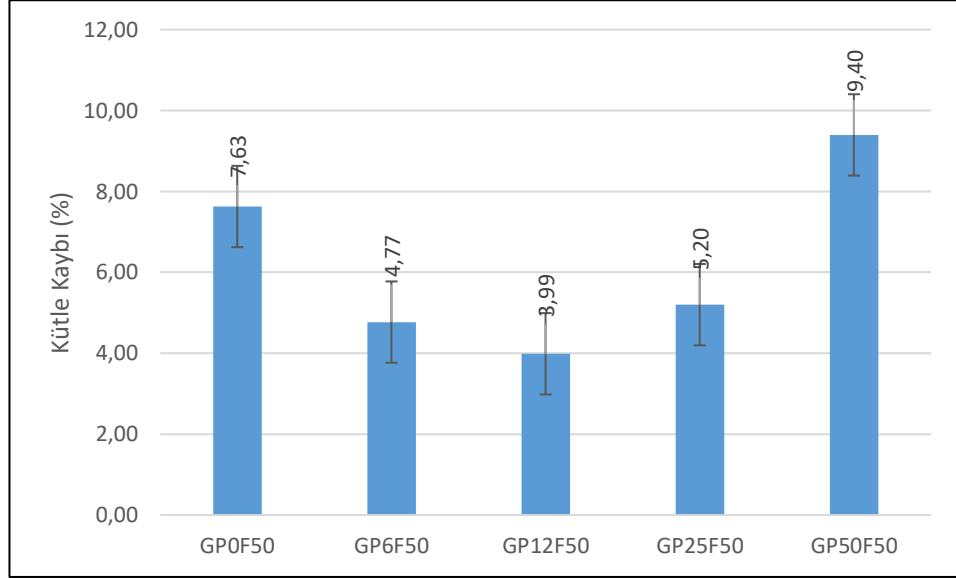
b)

Şekil 4. 32 Donma-çözünme etkisine maruz bırakılan cam tozu bağlayıcı karışımların basınç dayanımları a) Köpük oranı 50 kg/m³ b) Köpük oranı 100 kg/m³

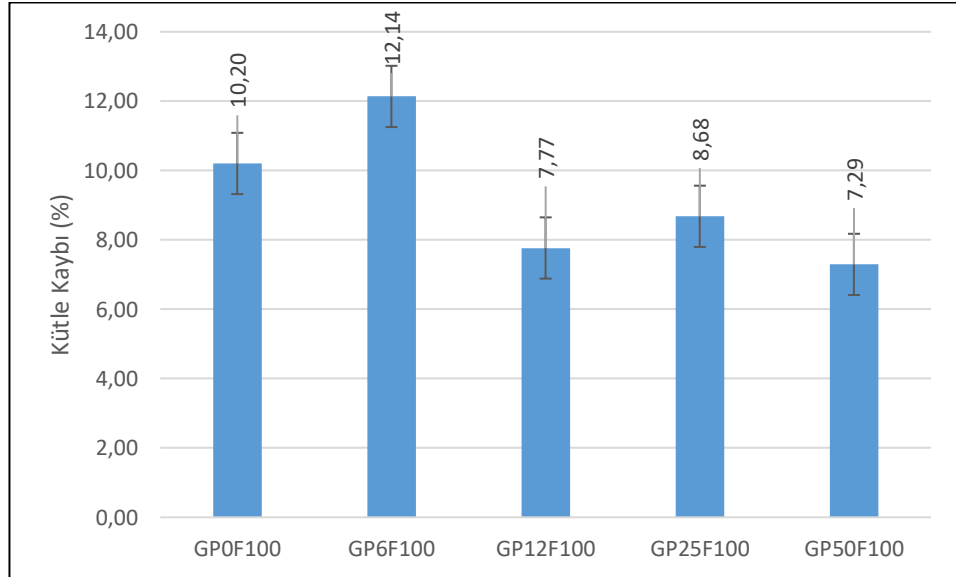
Şekil 4.35a, 50 kg/m³ köpük içeriklerindeki cam tozu bağlayıcı ikameli numunelerin donma-çözülme sonrası % olarak ağırlık kayıplarını göstermektedir. 50 kg/m³ köpük içeriğindeki %50 cam tozu bağlayıcı ilaveli GP50F50 numuneleri %9,40 ile en yüksek kütle kaybını göstermiş ve %12,5 cam tozu bağlayıcı ilaveli GP12F50 numuneleri %3,99 ile en düşük kütle kaybını göstermiştir. %0 cam tozu bağlayıcı içeren GP0F50 numunesinin kütle kaybı referans olarak alındığında %6,25 cam tozu bağlayıcı içeren GP6F50 numunesi %37 daha az, %12,5 cam tozu bağlayıcı içeren GP12F50 numunesi %47,7 daha az, %25 cam tozu bağlayıcı içeren GP25F50 numunesi %31,8 daha az ve %50 cam tozu bağlayıcı içeren GP50F50 numunesi ise %23 daha çok kütle kaybettiği gözlenmiştir.

Şekil 4.35b, 100 kg/m³ köpük içeriklerindeki cam tozu bağlayıcı ikameli numunelerin donma-çözülme sonrası % olarak ağırlık kayıplarını göstermektedir. 100 kg/m³ köpük içeriğindeki %6,25 cam tozu bağlayıcı ilaveli GP6F100 numuneleri %12,14 ile en yüksek kütle kaybını göstermiş ve %50 cam tozu bağlayıcı ilaveli GP50F100 numuneleri %7,29 ile en düşük kütle kaybını göstermiştir. %0 cam tozu bağlayıcı içeren GP0F100 numunesinin kütle kaybı referans olarak alındığında %6,25 cam tozu bağlayıcı içeren GP6F100 numunesi %19 daha çok, %12,5 cam tozu bağlayıcı içeren GP12F100 numunesi %23,8 daha az, %25 cam tozu bağlayıcı içeren GP25F100

numunesi %15 daha az ve %50 cam tozu bağlayıcı içeren GP50F100 numunesi ise %28,5 daha az kütle kaybettiği gözlenmiştir.



a)



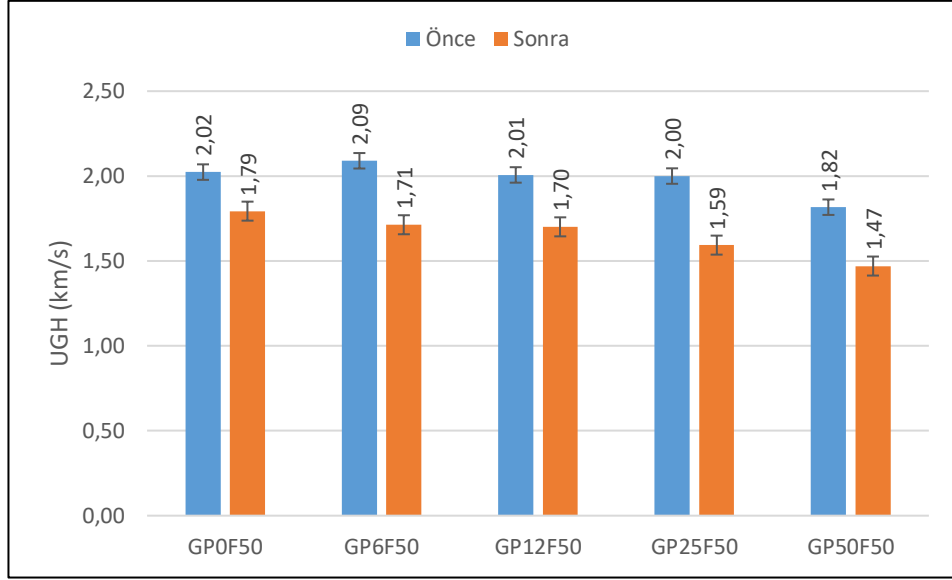
b)

Şekil 4. 33 Donma-çözünme etkisine maruz bırakılan cam tozu bağlayıcıli karışımların kütle kaybı oranları a) Köpük oranı 50 kg/m³ b) Köpük oranı 100 kg/m³

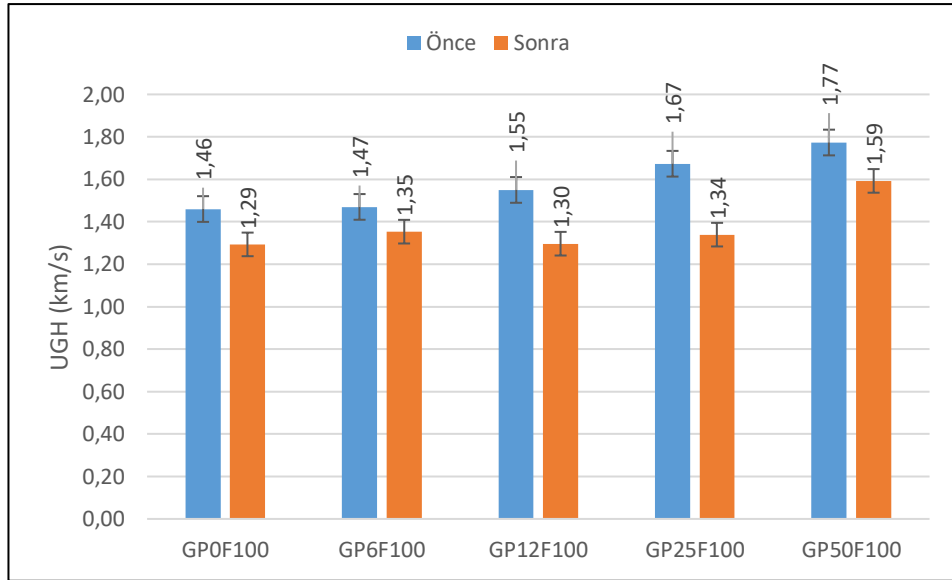
Şekil 4.36a, 50 kg/m³ köpük içeriklerindeki cam tozu bağlayıcı ikameli numunelerin donma-çözülme öncesi ve sonrası UGH'larını göstermektedir. 50 kg/m³ köpük içeriğindeki GP0F50 numunesi UGH değişimi 0,23 km/s, GP6F50 numunesi UGH değişimi 0,38; GP12F50 numunesi UGH değişimi 0,31 km/s, GP25F50 numunesi

UGH değişimi 0,41 km/s, GP50F50 numunesi UGH değişimi 0,35 km/s olarak gözlenmiştir. %25 cam tozu bağlayıcı ilaveli GP25F50 numuneleri 0,41 km/s ile en yüksek UGH değişimi göstermiş ve %0 cam tozu bağlayıcı ilaveli GP0F50 numuneleri 0,23 km/s ile en düşük UGH değişimini göstermiştir. %0 cam tozu bağlayıcı içeren GP0F50 numunesinin UGH referans olarak alındığında %6,25 cam tozu bağlayıcı içeren GP6F50 numunesi %65 daha ęok, %12,5 cam tozu bağlayıcı içeren GP12F50 numunesi %34,8 daha ęok, %25 cam tozu bağlayıcı içeren GP25F50 numunesi %78 daha ęok ve %50 cam tozu bağlayıcı içeren GP50F50 numunesi ise %52 daha ęok UGH değişimi gösterdiği gözlenmiştir.

şekil 4.36b, 100 kg/m³ köpük içeriklerindeki cam tozu bağlayıcı ikameli numunelerin donma-ęzlme öncesi ve sonrası UGH'larını göstermektedir. 100 kg/m³ köpük iğeriğindeki GP0F100 numunesi UGH değişimi 0,17 km/s, GP6F100 numunesi UGH değişimi 0,12, GP12F100 numunesi UGH değişimi 0,25 km/s, GP25F100 numunesi UGH değişimi 0,33 km/s, GP50F100 numunesi UGH değişimi 0,18 km/s olarak gözlenmiştir. %25 cam tozu bağlayıcı ilaveli GP25F100 numuneleri 0,33 km/s ile en yüksek UGH değişimi göstermiş ve %6,25 cam tozu bağlayıcı ilaveli GP6F100 numuneleri 0,12 km/s ile en düşük UGH değişimini göstermiştir. %0 cam tozu bağlayıcı içeren GP0F100 numunesinin UGH referans olarak alındığında %6,25 cam tozu bağlayıcı içeren GP6F100 numunesi %29 daha az, %12,5 cam tozu bağlayıcı içeren GP12F100 numunesi %47 daha ęok, %25 cam tozu bağlayıcı içeren GP25F100 numunesi %94 daha ęok ve %50 cam tozu bağlayıcı içeren GP50F100 numunesi ise %5,88 daha ęok UGH değişimi gösterdiği gözlenmiştir.



a)



b)

Şekil 4.34 Donma-çözünme etkisine maruz bırakılan cam tozu bağlayıcı karışımların UGH değişimi a) Köpük oranı 50 kg/m³ b) Köpük oranı 100 kg/m³

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, hafif genleştirilmiş perlitin atık cam agrega ile ikamesine (0, 30, 50, 70 ve %100) ek olarak iki farklı miktarda köpürtücü maddenin (50 ve 100 kg/m³) etkisi yapılmıştır. Bu çalışmanın sonuçlarına dayanarak, aşağıdaki sonuçlar çıkarılabilir:

- Cam agrega içeriğindeki artış, belirli bir köpük içeriğinde köpük betonun akışkanlığında bir artışa yol açar. Bu potansiyel olarak cam parçacıklarının pürüzsüz yüzeyi ve geçirimsizliği ile ilişkilendirilebilir.
- Cam agrega ilavesi, belirli bir köpük içeriği ve kürlenme yaşı için köpük betonun basınç ve eğilme mukavemetini artırır. Cam agrega ilavesi, daha az köpük ajanı içeriğine sahip köpük betonun mukavemet gelişimi üzerinde daha olumlu bir etkiye sahiptir; bu, daha az gözenekli bir karışımda cam agregaların çimento hamuru matrisi ile daha iyi yüzey yapışmasına bağlı olabilir.
- Belirli bir köpük içeriği için, cam agrega ilavesi kütle yoğunluğunu artırır ve köpük betonun porozite, su emilimini ve kapileritesini azaltır ve daha düşük köpük içeriğine sahip beton üzerinde daha önemli etkiler yaratır. Bu gözlem, genleşmiş perlite kıyasla cam agreganın daha yüksek özgül ağırlığı ve daha az su emmesi nedeniyle olabilir.
- Önceki çalışmalarda normal betona kıyasla köpük beton için daha yüksek kuruma büzülmesi (5 ile 10 kata kadar) belirtilmiş olsa da, bu çalışmanın sonuçları cam agregaların eklenmesiyle bu tür yüksek kuruma büzülmelerinin önemli ölçüde azaltılabileceğini göstermiştir. Bunun esas olarak, cam içeren betonun kuruma büzülmesinin neden olduğu iç gerilime dayanma kabiliyetinin artmasıyla ilişkili olduğu bulunmuştur. Ek olarak, cam parçacıkları oldukça düşük bir gözenekliliğe sahip pürüzsüz bir yüzeye sahip olduklarından, kuruma büzülme potansiyellerini daha da önleyebilirler.

- İnce boyutlarda (örn. <2,36 mm) cam agregası kullanımı köpük betonun ASR genişmesini %38'e kadar azaltır. Özellikle %100 cam agregalı betonların erken genişleme oranı %60'a kadar düşmektedir.
- Donma-çözülme direnci testinin sonucu, daha yüksek oranda cam agregası içeren köpük betonların önemli ölçüde daha az kütle kaybı yaşadığını göstermiştir. Özüde, bu, genişletilmiş perlite kıyasla cam agregalarının önemli ölçüde daha düşük gözenekliliğine atfedilebilir.
- Isıl iletkenlik ve ısıl direnç testlerinin sonuçları, daha yüksek köpük içeriğinin daha düşük kütle kaybı ve iletkenlik ile sonuçlandığını, bunun da çoğunlukla artan cam agregası ile köpük betonun azaltılmış gözenekliliği nedeniyle cam agregalarının eklenmesiyle dengelendiğini göstermiştir. Bu sonuçlar, yüksek erime noktası nedeniyle cam agregasının yüksek sıcaklıklarda yüksek etkinliğini göstermektedir.
- Bu çalışmanın sonuçları, soğutma rejiminin, potansiyel olarak ani sıcaklık değişiminin etkisinden dolayı, biraz daha düşük bir mukavemet azalmasına neden olabileceğini göstermiştir. Köpük betonların kimyasal dönüşümünün farklı soğutma rejimleri altında daha fazla araştırılması önerilir.

KAYNAKLAR

- Akman, M. S., ve Akçay, B. (2005). Kimyasal katkıların gelişimi ve çimentolarla uyumu. Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyomu.
- Akman, S. (1990). "Yapı Malzemeleri". İstanbul: T.C İstanbul Teknik Üniversitesi (Sayı 1408).
- Aldrige, D. (2005). Introduction to foamed concrete: What, Why, How? Proceedings: International Conference on the Use of Foamed Concrete in Construction (s. 1-14). Scotland: University of Dundee.
- Alter, A. Z. A., Bayraktar, O. Y., & Soylemez, H. (2019). Investigation of the effects of modified bitumen on asphalt concrete performance by industrial waste. *Kastamonu University Journal of Engineering and Sciences*, 5(2), 93-100.
- Alter, A. Z., Bayraktar, O. Y., Bodur, B., & Kaplan, G. (2021). Investigation of the Usage Areas of Different Fiber Reinforced Concrete. *Kastamonu University Journal of Engineering and Sciences*, 7(1), 7-18.
- Aricak, B., Cetin, M., Erdem, R., Sevik, H., & Cometen, H. (2019). The change of some heavy metal concentrations in Scotch pine (*Pinus sylvestris*) depending on traffic density, organelle and washing. *Applied Ecology and Environmental Research*, 17 (3), 6723-6734.
- Aricak, B., Cetin, M., Erdem, R., Sevik, H., & Cometen, H. (2020). The usability of Scotch pine (*Pinus sylvestris*) as a biomonitor for traffic-originated heavy metal concentrations in Turkey. *Polish Journal of Environmental Studies*, 29 (2): 1051-1057
- Azizi, S. (2007). Perlit Katkılı Hafif Betonların Mekanik Özellikleri ve Isı Yalıtımı. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Baradan, B. (2003). İnşaat Mühendisleri İçin Malzeme Bilgisi (s. 394). içinde İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Basım Ünitesi, Yayın No: 307.
- Bayraktar, O.Y. (2019). The possibility of fly ash and blast furnace slag disposal by using these environmental wastes as substitutes in portland cement. *Environmental monitoring and assessment*, 191(9), 560. <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7741-4>.
- Bayraktar, O. Y., Sağlam-Citoglu, G., & Abo Aisha, A. E. S. (2019a). The use of scrap tires in the construction sector. *International Journal of Trend in Research and Development*, 6(1), 253–256.

- Bayraktar, O. Y., Saglam-Citoglu, G., & Abo Aisha, A. E. S. (2019b). Performance research of lime based mortars. *International Journal of Trend in Research and Development*, 6(1), 257–259.
- Bayraktar, O. Y., Saglam-Citoglu, G., Belgin, C. M., Cetin, S., & Cetin, M. (2019c). Investigation of effect of brick dust and silica fume on the properties of portland cement mortar. *Fresenius Environmental Bulletin*, 28(11), 7823-7832.
- Bayraktar, O. Y., Saglam-Citoglu, G., Belgin, C. M., & Cetin, M. (2019d). Investigation of the mechanical properties of marble dust and silica fume substituted portland cement samples under high temperature effect. *Fresenius Environmental Bulletin*, 28(5), 3865–3875.
- Bayraktar, O. Y. (2020a). The Use of Rice Husk Waste in Foam Concrete Production. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 8(12), 2716-2722.
- Bayraktar, O.Y. (2020b). Risk management in construction sector. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 8(2), 237-243.
- Bayraktar, O. Y. (2020c). Use of geosynthetics in road construction. *Kastamonu University Journal of Engineering and Sciences*, 6(2): 107-113
- Bayraktar, O.Y. (2020d). Durability performance of concrete structures exposed to fire, *International Journal of Engineering Sciences & Research Technology*, 9(11), 70-81.
- Bayraktar, O. Y., Soylemez, H., Kaplan, G., Benli, A., Gencil, O., & Turkoglu, M. (2021a). Effect of cement dosage and waste tire rubber on the mechanical, transport and abrasion characteristics of foam concretes subjected to H₂SO₄ and freeze–thaw. *Construction and Building Materials*, 302, 124229.
- Bayraktar, O. Y., Kaplan, G., Gencil, O., Benli, A., & Sutcu, M. (2021b). Physico-mechanical, durability and thermal properties of basalt fiber reinforced foamed concrete containing waste marble powder and slag. *Construction and Building Materials*, 288, 123128. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.123128>
- Bayraktar, O. Y., Eshtewi, S. S. T., Benli, A., Kaplan, G., Toklu, K., & Gunek, F. (2021c). The impact of RCA and fly ash on the mechanical and durability properties of polypropylene fibre-reinforced concrete exposed to freeze-thaw cycles and MgSO₄ with ANN modeling. *Construction and Building Materials*, 313, 125508.
- Bayraktar, O. Y., Kaplan, G., & Benli, A. (2021d). The effect of recycled fine aggregates treated as washed, less washed and unwashed on the mechanical and durability characteristics of concrete under MgSO₄ and freeze-thaw cycles. *Journal of Building Engineering*, 103924.
- Bayraktar, O. Y., Kaplan, G., Gencil, O., Benli, A., & Sutcu, M. (2021e). Physico-mechanical, durability and thermal properties of basalt fiber reinforced foamed

concrete containing waste marble powder and slag. *Construction and Building Materials*, 288, 123128.

Bayraktar, O. Y., Soylemez, H., Kaplan, G., Benli, A., Gencil, O., & Turkoglu, M. (2021f). Effect of cement dosage and waste tire rubber on the mechanical, transport and abrasion characteristics of foam concretes subjected to H₂SO₄ and freeze–thaw. *Construction and Building Materials*, 302, 124229.

Bayraktar, O. Y. (2021a). Possibilities of disposing silica fume and waste glass powder, which are environmental wastes, by using as a substitute for Portland cement. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(13), 16843-16854.

Bayraktar, O. Y. (2021b). Yüksek Hacimli Çimento İçerikli Kompozitlerde Polipropilen Lif ve Alçıtaşı Kullanımının Mühendislik Özellikleri Üzerindeki Etkisi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 9(5), 2036-2051.

Bayraktar, O. Y., & Kaplan, G. (2021a). Examining The Mechanical and Durability Properties of Concrete Containing Recycled Fine Aggregates Possessing Different Contamination Levels.

Bayraktar, O. Y., & Kaplan, G. (2021b). Farklı çimentolardan üretilen köpük betonlarda atık lastiklerin hafif agrega olarak kullanımı. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 11(3), 692-703.

Beningfield, N., Gaimster, R., ve Griffin, P. (2005). Investigation into the air void characteristics of foamed concrete. *Proceedings: International Conference on the Use of Foamed Concrete in Construction* (s. 51–60). Scotland: University of Dundee.

Bingöl, A. F., ve Gül, R. (2004). Compressive strength of lightweight aggregate concrete exposed to high temperatures. *Indian J. of Eng. and Materials Sciences*.

Canturk, U., & Kulac, S. (2021). The effects of climate change scenarios on *Tilia* ssp. in Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, doi:10.1007/s10661-021-09546-5

Cesur A, Zeren Cetin I, Abo Aisha AES, Alrabiti OBM, Aljama AMO, Jawed AA, Cetin M, Sevik H, Ozel HB (2021) The usability of *Cupressus arizonica* annual rings in monitoring the changes in heavy metal concentration in air. *Environmental Science and Pollution Research (Environ Sci Pout Res)* 2021. DOI: 10.1007/s11356-021-13166-4; <https://doi.org/10.1007/s11356-021-13166-4>

Cetin, M., & Sevik, H. (2016a). Measuring the Impact of Selected Plants on Indoor CO₂ Concentrations. *Polish Journal of Environmental Studies*, 25(3): 973-979

Cetin, M. (2016b). A Change in the Amount of CO₂ at the Center of the Examination Halls: Case Study of Turkey. *Studies on Ethno-Medicine*, 10(2), 146-155.

- Cetin, M., Sevik, H., Yigit, N., Ozel H.B., Aricak, B., & Varol, T. (2018a) The variable of leaf micromorphological characters on grown in distinct climate conditions in some landscape plants. *Fresenius Environmental Bulletin*, 27 (5): 3206-3211.
- Cetin, M., Sevik, H., & Yigit, N. (2018b). Climate type-related changes in the leaf micromorphological characters of certain landscape plants. *Environmental monitoring and assessment*, 190 (7), 404.
- Cetin, M., Onac, A. K., Sevik, H., & Sen, B. (2019a). Temporal and regional change of some air pollution parameters in Bursa. *Air Quality, Atmosphere & Health*, 12(3), 311-316.
- Cetin, M., Sevik, H., Aricak, B., Ozturk, A., Genc, C. O., Aisha, A. E. S. A., Jawed, A.A., Aljama, A.M.O. & Alrabiti, O. B. M. (2019b). The Investigation of the Changing in Concentration of Some Heavy Metals in Seeds, Leaves, and Branches because of Traffic Density: a Case Study of Acer Platanoides. *Kastamonu Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 5(2), 83-92.
- Cetin, M. (2020). The Changing of Important Factors in The Landscape Planning Occur Due to Global Climate Change in Temperature, Rain and Climate Types: A Case Study of Mersin City. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 8(12), 2695-2701.
- Cetin, M., Sevik, H., & Cobanoglu, O. (2020). Ca, Cu, and Li in washed and unwashed specimens of needles, bark, and branches of the blue spruce (*Picea pungens*) in the city of Ankara. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-10.
- Cetin, M., Sevik, H., Turkyilmaz, A., Isinkaralar, K. (2021). Using Abies's Needles as Biomonitors of Recent Heavy Metal Accumulation. *Kastamonu University Journal of Engineering and Sciences*, 7(1), 1-6.
- Cox, L. S. (2005). Major road and bridge projects with foam concrete. *Proceedings: International Conference on the Use of Foamed Concrete in Construction* (s. 105-112). Scotland: University of Dundee.
- Cox, L. S., ve van Dijk, S. (2002). Foam concrete: A different kind of mix. *Concrete* Vol. 36 no. 2 (s. 54-55). içinde UK.
- Çiçek, Y. (2002). Pişmiş Toprak Tuğla, Bimsbeton, Gazbeton Ve Perlitli Yapı Malzemelerinin Fiziksel, Kimyasal Ve Mekanik Özelliklerinin Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi. İstanbul: İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.ş Yüksek Lisans Tezi.
- Çobanoglu, H., Şevik, H. (2021). Determination of Aluminum Accumulation in Atmosphere by Using Cedar Tree Annual Rings, 9h Global Conference on Environmental Studies (CENVISU-2021). October 14-16, 2021. Antalya, Turkey. p. 6.
- Çobanoglu, H., Şevik, H. (2021). The Usability of Tree Rings as a Biomonitor for Traffic Originated Baryum Concentrations in the Air. 6nd International

Conference on Material Science and Technology in Cappadocia (IMSTEC'2021). November 26-27-28, 2021, Cappadocia/TURKEY. p.495.

- Demir, T., Mutlu, E., Aydın, S., & Gültepe, N. (2021). Physicochemical water quality of Karabel, Çaltı, and Tohma brooks and blood biochemical parameters of *Barbus plebejus* fish: assessment of heavy metal concentrations for potential health risks. *Environmental monitoring and assessment*, 193(11), 1-15.
- Doğan, H., ve Şener, F. (2004). Hafif Yapı Malzemeleri (Pomza - Perlit - Ytong - Gazbeton) Kullanımının Yaygınlaştırılmasına Yönelik Sonuç ve Öneriler. *M.T.A. Haber Bülteni*, 1,, 51-53.
- elektrikport.com. (2019). Geri Dönüşümün Enerji Tasarrufuna Etkisi. Elektrikport.com: <https://www.elektrikport.com/haber-roportaj/geri-donusumun-enerji-tasarrufuna-etkisi/22187#ad-image-0> adresinden alındı
- Engin, C. (2018). Farklı Tane Boyutlu Genleştirilmiş Perlit Agregası İle Üretilen Ultra Hafif Betonların Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi. Van: Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Erdoğan, T. (2003). Beton (s. 741). içinde ,ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş.
- Elsunousi AAM, Sevik H, Cetin M, Ozel HB, Uzun Ozel H (2021) Periodical and regional change of particulate matter and CO2 concentration in Misurata. *Environ Monit Assess* 193: 707 (2021). DOI: 10.1007/s10661-021-09478-0
- Ertugrul, M., Ozel, H. B., Varol, T., Cetin, M., & Sevik, H. (2019). Investigation of the relationship between burned areas and climate factors in large forest fires in the Canakkale region. *Environmental monitoring and assessment*, 191 (12), 737.
- Ertugrul, M., Varol, T., Ozel, H. B., Cetin, M., & Sevik, H. (2021). Influence of climatic factor of changes in forest fire danger and fire season length in Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 193(1), 1-17.
- Gencel, O., Bayraktar, O. Y., Kaplan, G., Benli, A., Martinez-Barrera, G., Brostow, W., ... & Bodur, B. (2021a). Characteristics of hemp fibre reinforced foam concretes with fly ash and Taguchi optimization. *Construction and Building Materials*, 294, 123607.
- Gencel, O., Benli, A., Bayraktar, O. Y., Kaplan, G., Sutcu, M., & Elabade, W. A. T. (2021b). Effect of waste marble powder and rice husk ash on the microstructural, physico-mechanical and transport properties of foam concretes exposed to high temperatures and freeze–thaw cycles. *Construction and Building Materials*, 291, 123374.
- Gencel, O., Kazmi, S. M. S., Munir, M. J., Kaplan, G., Bayraktar, O. Y., Yazar, D. O., ... & Ahmad, M. R. (2021c). Influence of bottom ash and polypropylene fibers

on the physico-mechanical, durability and thermal performance of foam concrete: An experimental investigation. *Construction and Building Materials*, 306, 124887.

Gencel, O., Bayraktar, O. Y., Kaplan, G., Arslan, O., Nodehi, M., Benli, A., ... & Ozbakkaloglu, T. (2022). Lightweight foam concrete containing expanded perlite and glass sand: Physico-mechanical, durability, and insulation properties. *Construction and Building Materials*, 320, 126187.

Ghoma WEO, Sevik H and Isinkaralar K (2022) Using indoor plants as biomonitors for detection of toxic metals by tobacco smoke. *Air Quality, Atmosphere & Health*, <https://doi.org/10.1007/s11869-021-01146-z>

Goual, M. S., Bali,, A., de Barquin, F., ve Dheilily, R. M. (2006). Isothermal moisture properties of clayey cellular concretes elaborated from clayey waste, cement and aliminium powder. *Cement and Concrete research* Vol. 36 (s. 1768-1776). içinde

Gürer, C., Akbulut, H., ve Kürklü, G. (2004). İnşaat Endüstrisinde Geri Dönüşüm ve Bir Hammadde Kaynağı Olarak Farklı Yapı Malzemelerinin Yeniden Değerlendirilmesi. 5. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, (s. 28-36). İzmir.

Hrivnák, M., Paule, L., Krajmerová, D., Kulaç, Ş., Şevik, H., Turna, İ., Tvauri, I. & Gömöry, D. (2017). Genetic variation in Tertiary relics: The case of eastern-Mediterranean *Abies* (Pinaceae). *Ecology and evolution*, 7 (23), 10018-10030.

Isinkaralar, K. (2020). Removal of Formaldehyde and BTEX in Indoor Air Using Activated Carbon Produced from Horse Chestnut (*Aesculus Hippocastanum* L.) Shell. Ph.D. Thesis Hacettepe University Institute of Science Department of Environmental Engineering. Ankara, Turkey.

Isinkaralar, K., Gullu, G., & Turkyilmaz, A. (2022). Experimental study of formaldehyde and BTEX adsorption onto activated carbon from lignocellulosic biomass. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 1-11.

Isinkaralar K. Erdem R (2021a) Landscape Plants as Biomonitors for Magnesium Concentration in Some Species. *International Journal of Progressive Sciences and Technologies*, 29(2): 468-473.

Isinkaralar K. Erdem R (2021b) Changes of Calcium accumulation in some trees in Kocaeli. *Kastamonu University Journal of Engineering and Sciences*, 7(2), 148-154.

Jones, M. R., ve McCarthy, A. (2005). Behavior and assessment of foamed concrete for construction application. *Proceedings: International Conference on the Use of Foamed Concrete in Construction* (s. 61–88). Scotland: University of Dundee

Kalayci Onac A, Cetin M, Sevik H, Orman P, Karci A, Gonullu Sutcuoglu G (2021) Rethinking the campus transportation network in the scope of ecological

design principles: case study of Izmir Katip Çelebi University Çiğli Campus
Environmental Science and Pollution Research
(2021). <https://doi.org/10.1007/s11356-021-14299-2>

- Kaplan, G., & Bayraktar, O. Y. (2021). The effect of hemp fiber usage on the mechanical and physical properties of cement based mortars. *Research on Engineering Structures and Materials*, 7(2), 245-258.
- Kaplan, G., Gulcan, A., Cagdas, B., & Bayraktar, O. Y. (2021a). The impact of recycled coarse aggregates obtained from waste concretes on lightweight pervious concrete properties. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(14), 17369-17394.
- Kaplan, G., Turkoglu, M., Bodur, B., & Bayraktar, O. Y. (2021b). Usage of recycled fine aggregates obtained from concretes with low w/c ratio in the production of masonry plaster and mortar. *Environment, Development and Sustainability*, 1-30.
- Kaplan, G., Coskan, U., Benli, A., Bayraktar, O. Y., & Kucukbaltacı, A. B. (2021c). The impact of natural and calcined zeolites on the mechanical and durability characteristics of glass fiber reinforced cement composites. *Construction and Building Materials*, 311, 125336.
- Kaplan, G., Bayraktar, O. Y., & Memis, S. (2021d). Effect of high volume fly ash and micro-steel fiber on flexural toughness and durability properties in self-compacting lightweight mortar (SCLM). *Construction and Building Materials*, 307, 124877.
- Kaplan, G., Bayraktar, O. Y., Gholampour, A., Gencel, O., Koksall, F., & Ozbakkaloglu, T. (2021e). Mechanical and durability properties of steel fiber-reinforced concrete containing coarse recycled concrete aggregate. *Structural Concrete*, 22(5), 2791-2812
- Karacocuk, T., Sevik, H., Isinkaralar, K., Turkyilmaz, A., Cetin, M (2022). The change of Cr and Mn concentrations in selected plants in Samsun city center depending on traffic density. *Landscape Ecol Eng* 18, 75-83. <https://doi.org/10.1007/s11355-021-00483-6>
- Kearsley, E. P., ve Mostert, H. F. (2005). The Use of foamed concrete in refractories. *Proceedings: International Conference on the Use of Foamed Concrete in Construction* (s. 89–96). Scotland: University of Dundee.
- Kearsley, E. P., ve Mostert, H. F. (2005). Opportunities for expanding the use of foamed concrete in the construction industry. *Proceedings: International Conference on the Use of Foamed Concrete in Construction* (s. 143-154). Scotland: University of Dundee.
- Kearsley, E. P., ve Wainwright, P. J. (2002). Ash content for optimum strength of foamed concrete. *Cement and Concrete Research (Cilt 32)*, s. 241–246). içinde

- Key, K., Koç, İ., Kulaç, Ş., Şevik, H. (2021) Determination of the Air Pb Pollution in Kastamonu With The Help of *Picea pungens* Needles, 6nd International Conference on Material Science and Technology in Cappadocia (IMSTEC'21), November 26-27-28, 2021, Cappadocia /TURKEY. p. 497
- Kilicoglu, C., Cetin, M., Aricak, B., & Sevik, H. (2020). Site selection by using the multi-criteria technique-a case study of Bafra, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192 (9), 1-12.
- Kilicoglu, C., Cetin, M., Aricak, B., Sevik, H. (2021) Integrating multicriteria decision-making analysis for a GIS-based settlement area in the district of Atakum, Samsun, Turkey. *Theor Appl Climatol.* 143, 379–388. <https://doi.org/10.1007/s00704-020-03439-2>
- Koç, İ. (2021a) Changes That May Occur in Temperature, Rain, and Climate Types Due to Global Climate Change: The Example of Düzce. *Turkish Journal of Agriculture – Food Science and Technology*, 9(8), 1545-1554
- Koç, İ. (2021b) The Effect of Global Climate Change on Some Climate Parameters and Climate Types in Bolu. *Journal of Bartın Faculty of Forestry*, 23(2), 706-719
- Koç, İ. (2021c). Using *Cedrus atlantica*'s annual rings as a biomonitor in observing the changes of Ni and Co concentrations in the atmosphere. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(27), 35880–35886
- Koç, İ. (2021d). Examining Seed Germination Rate and Seedlings Gas Exchange Performances of Some Turkish Red Pine Provenances Under Water Stress. *Düzce University Journal of Science & Technology*, 9(3), 48-60.
- Koç, İ (2021e). Examining of seed germination rate and seedlings gas exchange performances of Anatolian black pine under water stress. *International Karabakh Applied Science Conference*. Khazar Univeristy, June 17-19, 2021. (Conference paper).
- Koç, İ (2021f). Examination of gas exchange parameters of *Abies balsamea* (L) Mill. and *Abies concolor* saplings, grown under various water regime, exposed to extreme drought stress at the end of the growing season. *Turkish Journal of Forest Science*, 5(2), 592-605
- Koç, İ., Nzokou, P. (2022). Do various conifers respond differently to water stress? A comparative study of white pine, concolor and balsam fir. *Kastamonu University Journal of Forest Faculty*. (In press)
- Koç, İ., Nzokou, P., Cregg B. (2021). Biomass allocation and nutrient use efficiency in response to water stress: Insight from experimental manipulation of balsam fir, concolor fir and white pine transplants. *New Forests*. DOI: 10.1007/s11056-021-09894-7
- Koç, İ. (2019). Conifers Response to Water Stress: Physiological Responses and Effects on Nutrient Use Physiology. Dissertation. Michigan State University.

- Koc, I., & Nzokou, P. (2018) Effects of water stress and cold treatments on the germination of two conifers (*Pinus nigra* and *Pinus brutia*) species from Turkey. *Hortscience*, 53(9), 259-259.
- Kravkaz Kuscu, I. S., Cetin, M., Yigit, N., Savaci, G., & Sevik, H. (2018a). Relationship between Enzyme Activity (Urease-Catalase) and Nutrient Element in Soil Use. *Polish Journal of Environmental Studies*, 27 (5). 2107-2112.
- Kravkaz-Kuscu, I. S., Sariyildiz, T., Cetin, M., Yigit, N., Sevik, H., & Savaci, G. (2018b). Evaluation of the soil properties and primary forest tree species in Taskopru (Kastamonu) district. *Fresenius Environmental Bulletin*, 27 (3), 1613-1617.
- Kurkjian, C., ve Prindle, W. (1998). Perspectives on the History of Glass Composition. *Journal of the American Ceramic Society* Vol. 81 Issue 4, s. 795-813.
- Lee, Y. L., ve Hung, Y. T. (2005). Exploitation of solid wastes in foamed concrete: Challenges ahead. *Proceedings: International Conference on the Use of Foamed Concrete in Construction* (s. 15-22). Scotland: University of Dundee.
- Meyer, C., Egosi, N., ve Andela, C. (2001). Concrete with Waste Glass as Aggregate in “Recycling and Re-use of Glass Cullet”, Dhir, Dyer and Limbachiya. *Proceedings of the International Symposium Concrete Technology Unit of ASCE and University of Dundee*, (s. 179-188).
- Nambiar, E. K., ve Ramamurthy, K. (2008). Fresh state characteristic of foam concrete. *ASCE Material and Civil Engineer* 20 (s. 111-117). içinde
- Ozel HB, Cetin M, Sevik H, Varol T, Isik B, Yaman B (2021a) The effects of base station as an electromagnetic radiation source on flower and cone yield and germination percentage in *Pinus brutia* Ten. *Biologia Futura* (2021). <https://doi.org/10.1007/s42977-021-00085-1>
- Ozel, H.B., Abo Aisha, A.E.S., Cetin, M. Sevik, H., Zeren Cetin, I. (2021b). The effects of increased exposure time to UV-B radiation on germination and seedling development of Anatolian black pine seeds. *Environ Monit Assess* 193, 388. <https://doi.org/10.1007/s10661-021-09178-9>
- Ozel, H. B., Donduran, V., Şevik, H., Bilir, N., & Varol, T. (2021c). Investigation on sand-dune afforestation by *Eucalyptus* (*Eucalyptus grandis* W. Hill) in Patara-Antalya region. *Theoretical and Applied Forestry*, 1(1), 34-39.
- Ozel, H. B., Varol, H.N., Sevik, H. (2021d) Change of Mg concentration in several plants depending on plant species, washing status, and traffic density, *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 12(01), 447–453, DOI: <https://doi.org/10.30574/wjarr.2021.12.1.0551>
- Ozel, H.B., Varol, H.N., Sevik, H. (2021e) The Change of Mn Concentration by Organ and Species in Several Edible Plants. *International Journal of Progressive Sciences and Technologies (IJPSAT)*. 29(2): 474-480

- Ozel, H. B., Sen, M., Sevik, H. (2021) Change of Ba concentration by species and organ in several fruits grown in city centers, *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 12(03), 143–150, DOI: <https://doi.org/10.30574/wjarr.2021.12.3.0681>
- Ozkazanc, N. K., Ozay, E., Ozel, H. B., Cetin, M., & Sevik, H. (2019). The habitat, ecological life conditions, and usage characteristics of the otter (*Lutra lutra* L. 1758) in the Balıkdami Wildlife Development Area. *Environmental Monitoring and Assessment*, 191 (11), 645.
- Öztürk, M. (2012). Pomza ve Perlit İçerikli Hafif Betonların Fiziksel ve Mekanik Özelliklerin İncelenmesi. Tekirdağ: Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Papayianni, I., ve Milud, I. A. (2005). Production of foamed concrete with high calcium fly ash. *Proceedings: International Conference on the Use of Foamed Concrete in Construction* (s. 23–28). Scotland,: University of Dundee.
- Savas, D.S., Sevik, H., Isinkaralar, K. Turkyilmaz, A. & Cetin, M. (2021). The potential of using *Cedrus atlantica* as a biomonitor in the concentrations of Cr and Mn. *Environ Sci Pollut Res* (2021). <https://doi.org/10.1007/s11356-021-14826-1>
- Sevik, H. (2012). Variation in seedling morphology of Turkish fir (*Abies nordmanniana* subsp. *bornmulleriana* Mattf). *African Journal of Biotechnology*, 11 (23), 6389-6395.
- Sevik, H., & Erturk, N. (2015). Effects of drought stress on germination in fourteen provenances of *Pinus brutia* Ten. seeds in Turkey. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 3(5), 294-299.
- Sevik, H., & Cetin, M. (2015). Effects of water stress on seed germination for select landscape plants. *Polish Journal of Environmental Studies*, 24(2), 689-693.
- Sevik, H., & Karaca, U. (2016). Determining the resistances of some plant species to frost stress through ion leakage method. *Feb-fresenius environmental bulletin*, 25(8), 2745-2750.
- Sevik, H., Cetin, M., Ozel, H. B., & Pinar, B. (2019a). Determining toxic metal concentration changes in landscaping plants based on some factors. *Air Quality, Atmosphere & Health*, 12 (8), 983-991.
- Sevik, H., Cetin, M., Ozturk, A., Yigit, N., & Karakus, O. (2019b). Changes in micromorphological characters of *Platanus orientalis* L. leaves in Turkey. *Applied Ecology and Environmental Research*, 17 (3), 5909-5921.
- Sevik, H., Cetin, M., Ozel, H. B., Akarsu, H., & Cetin, I. Z. (2020a). Analyzing of usability of tree-rings as biomonitors for monitoring heavy metal accumulation in the atmosphere in urban area: a case study of cedar tree (*Cedrus* sp.). *Environmental Monitoring and Assessment*, 192 (1), 23.

- Sevik, H., Cetin, M., Ozel, H. B., Ozel, S., & Cetin, I. Z. (2020b). Changes in heavy metal accumulation in some edible landscape plants depending on traffic density. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192 (2), 78.
- Sevik, H., Cetin, M., Ozel, H. U., Ozel, H. B., Mossi, M. M. M., & Cetin, I. Z. (2020c). Determination of Pb and Mg accumulation in some of the landscape plants in shrub forms. *Environmental Science and Pollution Research*, 27 (2), 2423-2431.
- Sevik, H., Cetin, M., Ozel, H. B., Erbek, A., & Cetin, I. Z. (2021). The effect of climate on leaf micromorphological characteristics in some broad-leaved species. *Environment, Development and Sustainability*, 23(4), 6395-6407.
- Shelby, J. (2005). *Introduction to Glass Science and Technology*. 2nd Edition. Cambridge: The Royal Society of Chemistry.
- Shults, P., Nzokou, P., Koc, I. (2020). Nitrogen contributions of alley cropped *Trifolium pratense* may sustain short rotation woody crop yields on marginal lands. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 117(2), 261-272.
- Smith, W. (2001). *Malzeme Bilimi ve Mühendisliği*, (Çev. N. Kınıkoğlu) (s. 855). içinde İstanbul: Literatür Yayıncılık.
- Şen, G., Güngör, E., & Şevik, H. (2018). Defining the effects of urban expansion on land use/cover change: a case study in Kastamonu, Turkey. *Environmental monitoring and assessment*, 190 (8), 454.
- Şevik, H., Işınkaralar, K., Erdem R., Türkyılmaz, A. (2021). Kentsel Alanlarda Havadaki Ağır Metal Kirliliğinin İzlenmesinde Biyomonitörlerin Kullanımı, *Kent Araştırmaları*, Ed. Şenay Güngör, Fatih Adıgüzel, ISBN: 978-625-7606-34-9. Pp: 213-226
- Terro, M. (2006). Properties of Concrete Made with Recycled Crushed Glass at Elevated Temperatures. *Building and Environment* (s. 633-639). içinde
- Tokatli, C., Mutlu, E., & Arslan, N. (2021). Assessment of the potentially toxic element contamination in water of Şehriban Stream (Black Sea Region, Turkey) by using statistical and ecological indicators. *Water Environment Research*, 93(10), 2060-2071.
- Topacoglu, O., Sevik, H., & Akkuzu, E. (2016a). Effects of water stress on germination of *Pinus nigra* Arnold. *Seeds. Pak. J. Bot*, 48 (2), 447-453.
- Topacoglu, O., Sevik, H., Guney, K., Unal, C., Akkuzu, E., & Sivacioglu, A. (2016b). Effect of rooting hormones on the rooting capability of *Ficus benjamina* L. cuttings. *Şumarski list*, 140 (1-2), 39-44.
- TS EN 1008. (2003). *Beton-Karma suyu*. Ankara: TSE.
- TS EN K 134. (2014). *Köpük beton yapı malzeme ve elemanları*. Ankara: Türk Standartları Enstitüsü.

- Turkyilmaz, A., Sevik, H., Isinkaralar, K., & Cetin, M. (2018a). Using *Acer platanoides* annual rings to monitor the amount of heavy metals accumulated in air. *Environ Monit Assess* 190:578.
- Turkyilmaz, A., Sevik, H., & Cetin, M. (2018b). The use of perennial needles as bio-monitors for recently accumulated heavy metals. *Landsc Ecol Eng* 14 (1):115–120.
- Turkyilmaz, A., Sevik, H., Cetin, M., & Ahmaida Saleh E. A. (2018c). Changes in heavy metal accumulation depending on traffic density in some landscape plants. *Pol J Environ Stud* 27 (5):2277–2284.
- Turkyilmaz, A., Sevik H., Isinkaralar K, & Cetin M. (2019). Use of tree rings as a bioindicator to observe atmospheric heavy metal deposition, *Environmental Science and Pollution Research*, 26 (5), 5122-5130.
- Turkyilmaz, A., Cetin, M., Sevik, H., Isinkaralar, K., & Saleh, E. A. A. (2020). Variation of heavy metal accumulation in certain landscaping plants due to traffic density. *Environment, Development and Sustainability*, 22 (3), 2385-2398.
- Turna, İ., Şevik, H. ve Yahyaoğlu, Z., (2009) Uludağ Göknaarı (*Abies nordmanniana* subsp. *bornmülleriana* mattf.) Populasyonlarında Morfolojik Özelliklere Bağlı Genetik Çeşitlilik, *Bartın Orman Fakültesi Dergisi I.Ulusal Batı Karadeniz Ormancılık Kongresi Bildiriler Kitabı, Özel Sayı, ISSN: 1302-0943, II, pp. 341-347*
- Turna, İ., Şevik, H., Yahyaoğlu, Z., (2010). Uludağ Göknaarı (*Abies nordmanniana* subsp. *bornmülleriana* Mattf.) Populasyonlarında Tohum Özelliklerine Bağlı Genetik Çeşitlilik, *III. Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi, Bildiriler Kitabı, Cilt:II, s, 733-740, 20-22 Mayıs 2010, Artvin*
- Ucun Ozel, H., Ozel, H. B., Cetin, M., Sevik, H., Gemici, B. T., & Varol, T. (2019). Base alteration of some heavy metal concentrations on local and seasonal in Bartın River. *Environmental monitoring and assessment*, 191(9), 594.
- Ucun Ozel, H., Gemici, B. T., Gemici, E., Ozel, H. B., Cetin, M., & Sevik, H. (2020). Application of artificial neural networks to predict the heavy metal contamination in the Bartın River. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-18.
- Ultrapar. (2020). http://www.ultrapar.com/-page_id=32.htm adresinden alındı
- Varol, T., Ozel, H. B., Ertugrul, M., Emir, T., Tunay, M., Cetin, M., & Sevik, H. (2021). Prediction of soil-bearing capacity on forest roads by statistical approaches. *Environmental monitoring and assessment*, 193(8), 527.
- Varol T, Canturk U, Cetin M, Ozel HB, Sevik H (2021) Impacts of climate change scenarios on European ash tree (*Fraxinus excelsior* L.) in Turkey. *Forest Ecology and Management. Forest Ecology and Management* 491 (2021) 119199. DOI: 10.1016/j.foreco.2021.119199

- Varol, T., Cetin, M., Ozel, H.B., Sevik, H., Zeren Cetin, I. (2022). The Effects of Climate Change Scenarios on *Carpinus betulus* and *Carpinus orientalis* in Europe. *Water Air Soil Pollut* 233, 45. <https://doi.org/10.1007/s11270-022-05516-w>
- Weigler, H., ve Karl, S. (1980). Structural lightweight aggregate concrete with reduced density-lightweight aggregate foamed concrete. *International Lightweight Concrete*, 2 , (s. 101-104).
- Yigit N, Öztürk A, Sevik H. (2014). Ecological impact of urban forests (Example of Kastamonu urban forest). *International Journal of Engineering Sciences & Research Technology*. 2014; 3 (12): 558-562.
- Yigit, N., Sevik, H., Cetin, M., & Kaya, N. (2016a). Determination of the effect of drought stress on the seed germination in some plant species. *Water stress in plants*, 43-62.
- Yigit, N., Cetin, M., & Sevik, H. (2018). The Change in Some Leaf Micromorphological Characters of *Prunus laurocerasus* L. Species by Their Habitat. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 6 (11), 1517-1521.
- Yigit, N., Cetin, M., Ozturk, A., Sevik, H., & Cetin, S. (2019). Variation of Stomatal Characteristics in Broad Leaved Species Based on Habitat. *Applied Ecology and Environmental Research* 17 (6):12859-12868.
- Yigit, N., Mutevelli, Z., Sevik, H., Onat, S.M., Ozel, H.B., Cetin, M., Olgun, C. (2021). Identification of Some Fiber Characteristics in *Rosa* sp. and *Nerium oleander* L. Wood Grown under Different Ecological Conditions. *BioResources*, 16(3): 5862-5874. DOI:10.15376/biores.14.3.7015-7024
- Yucedag, C., Ozel, H. B., Cetin, M., & Sevik, H. (2019). Variability in morphological traits of seedlings from five *Euonymus japonicus* cultivars. *Environmental monitoring and assessment*, 191(5), 1-4.
- Zeren Cetin, I. & Sevik, H. (2020). Investigation of the relationship between bioclimatic comfort and land use by using GIS and RS techniques in Trabzon. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192 (2), 71.