

T.C.
KASTAMONU ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI



TABAN KÜLÜ VE GERİ DÖNÜŞÜM AGREGALARINDAN
ÜRETİLEN KÖPÜK BETONLARIN ÖZELLİKLERİ

BEKİR BALCI

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.

Bekir BALCI

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TABAN KÜLÜ VE GERİ DÖNÜŞÜM AGREGALARINDAN ÜRETİLEN KÖPÜK BETONLARIN ÖZELLİKLERİ

BEKİR BALCI

KASTAMONU ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

DANIŞMAN:DR. ÖĞR. ÜYESİ OĞUZHAN YAVUZ BAYRAKTAR

Kaynak korumasını takip etmek için, köpük beton gibi yalıtım malzemelerinin kullanımıyla optimize edilmiş ve sürdürülebilir yapıların üretimi inşaat sektöründe bir trend haline gelmiştir. Köpük betonun sayısız faydası olmasına rağmen, karışımında Portland çimentosunun daha fazla kullanılması ve düşük katı madde içeriği nedeniyle nispeten düşük termo-dayanıklılık özellikleri önemli endişelerdir. Bu bağlamda, bu çalışma, köpük betonun fiziko-mekanik ve termo-dayanıklılık özelliklerini değerlendirmek için ana agregalar olarak geri dönüştürülmüş ince beton agregası, kalker ve taban külü agregasının kullanımını değerlendirmektedir. Bu amaçla, 25 karışım üretildi ve akışkanlık, basınç ve eğilme mukavemeti, su emme, görünür porozite, kuruma büzülmesi, kapilerite, aşınma direnci, termal iletkenliğin yanı sıra yüksek sıcaklığın etkisi ve ilgili etkilerini içeren kapsamlı bir dizi test üretildi. Bu çalışmada köpük beton üzerinde soğutma rejimi gerçekleştirilmiştir. Bu temelde, taban külü ve geri dönüştürülmüş ince agregalarla üretilen köpük betonların, fiziko-mekanik özelliklerde kalker agregası ile üretilen karışımlardan daha iyi performans göstermesine rağmen oldukça düşük bir ısıl iletkenlik değerleri geliştirdiği bulunmuştur. Bununla birlikte, taban külü agregasının eklenmesinin, kireçtaşı ile karışımlarla karşılaştırılabilir fiziko-mekanik ve termo-dayanıklılık özelliklerine sahip köpük betonlar ürettiği bulunmuştur. Bu çalışmanın sonuçları önemlidir ve yalıtım özelliklerinden ödün vermeden köpük beton üretimi için geri dönüştürülmüş ince agregalar ve taban külü agregası gibi alternatif ince boyutlu agregaların kullanılmasının uygunluğuna işaret etmektedir.

ANAHTAR KELİMELER:Köpük beton, Hafif beton, Geri dönüşüm agregası, Taban külü agregası

Ocak 2022, 74 Sayfa

ABSTRACT

MSC THESIS

PROPERTIES OF FOAM CONCRETE PRODUCED FROM BASE ASH AND RECYCLING AGGREGATE

BEKİR BALCI

**KASTAMONU UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING**

SUPERVISOR:DR. ÖĞR. ÜYESİ OĞUZHAN YAVUZ BAYRAKTAR

To follow resource conservation, the production of optimized and sustainable structures through the use of insulating materials such as foam concrete has become a trend in construction industry. Although foam concrete has numerous benefits, the larger use of Portland cement in its mixture and its relatively low thermo-durability properties due to the low content of solid materials are major concerns. In that respect, this study evaluates the use of recycled fine concrete aggregate, limestone and bottom ash sand as main aggregate materials to evaluate the physico-mechanical and thermo-durability properties of foam concrete. To that end, 25 mixes have been produced and a comprehensive series of tests including flowability, compressive and flexural strength, water absorption, apparent porosity, drying shrinkage, sorptivity, abrasion resistance, thermal conductivity as well as the effect of elevated temperature and its respective cooling regime on foam concrete have been conducted in this study. On this basis, it is found that foam concretes manufactured with bottom ash and recycled fine aggregates develop a considerably lower thermal conductivity values despite being outperformed in physico-mechanical properties by those mixes produced with limestone sand. Nonetheless, the inclusion of bottom ash sand is found to produce foam concretes with a comparable physico-mechanical and thermo-durability properties to mixes with limestone. The results of this study are significant and point to the suitability of utilizing alternative fine-sized aggregates such as recycled fine aggregate and bottom ash sand for the production of foam concrete without compromising the insulating properties.

KEYWORDS: Foam concrete, Lightweight concrete, Recycling aggregate, Bottom ash sand

January 2022, 74 Page

TEŞEKKÜR

Tez çalıőmam boyunca danıőmanlıęımı yapan, bilgi birikimiyle çalıőmama ıőık tutan çok değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Oğuzhan Yavuz BAYRAKTAR'a őükranlarımı sunarım. Tez jürime katılan sayın Prof. Dr. Hasbi YAPRAK hocama ve sayın Dr. Öğr. Üyesi Gökhan KAPLAN hocama teşekkür ederim. Çalıőmam süresince desteklerini hiç esirgemeyen kıymetli aileme minnettarım. Yaptığım tez çalıőmasının, bilim dünyasına yararlı olmasını temenni ederim.

BEKİR BALCI

Kastamonu, 2022

İÇİNDEKİLER

Sayfa

TEZ ONAYI	ii
TAAHHÜTNAME	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
TABLolar DİZİNİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR TARAMASI	5
2.1 Köpük Beton.....	5
2.1.1 Köpük Ajanı.....	6
2.1.2 Köpük Betonun Özellikleri Ve Kullanım Alanları	6
2.2 Taban Külü.....	8
2.2.1 Taban Külünün Genel Özellikleri.....	9
2.2.2 Taban Külünün Kimyasal Bileşimi.....	9
2.2.3 Taban Külünün Elde Edilmesi	10
2.3 Köpük Beton Ve Taban Külü İle İlgili Çalışmalar.....	12
2.4 Atık Malzeme Olarak Beton.....	14
2.4.1 Geri Dönüştürülmüş Agregası.....	15
2.4.2 Geri Dönüşüm Agregası İle Yapılan Bazı Çalışmalar.....	18
3. MATERYAL VE METOD	21
3.1 Materyal.....	21
3.1.1 Çimento.....	21
3.1.2 Agregası.....	21
3.1.3 Karışım Suyu	22
3.1.4 Köpük Ajanı.....	22
3.2 Karışım Oranları.....	23
3.3 Numune Hazırlama Ve Test Yöntemleri.....	24
3.3.1 Taze Özellikler.....	25
3.3.2 Fiziksel Özellikler.....	26
3.3.3 Mekanik Özellikler	26
3.3.4 Kapilerite Özellikleri	27
3.3.5 Kuruma Büzülmesi	27
3.3.6 MgSO ₄ Dayanıklılığı.....	27
3.3.7 Yüksek Sıcaklık Dayanıklılığı	28
3.3.8 Isıl İletkenlik.....	28
4. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR	29
4.1 Taze Hal Özelliklerinin Değerlendirilmesi	29
4.2 Mekanik Özelliklerin Değerlendirilmesi.....	30
4.2.1 Basınç Dayanımı.....	30
4.2.2 Eğilme Mukavemeti.....	32
4.3 Yoğunluk	34

4.4	Su Emme Ve Görünür Porozite	35
4.5	Aşınma Direnci.....	38
4.6	Kapilerite	39
4.7	Kuruma Büzülmesi.....	40
4.8	Yüksek Sıcaklık Ve Soğutma Rejiminin Etkisi.....	42
4.8.1	Hava Soğutma.....	42
4.8.1.1	Basınç ve eğilme mukavemeti	42
4.8.1.2	Kütle kaybı.....	45
4.8.2	Su Soğutma	47
4.8.2.1	Basınç ve eğilme dayanımı	47
4.8.2.2	Kütle kaybı.....	51
4.8.2.3	Hava ve su soğutmanın karşılaştırmalı kütle kaybı.....	52
4.9	Termal İletkenlik	53
4.10	SEM Analizi	55
5.	SONUÇ VE ÖNERİLER	57
	KAYNAKLAR.....	59
	ÖZGEÇMİŞ.....	74

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1 Taban külü genel görünümü	8
Şekil 3.1 Kireçtaşı agregası, taban külü agregası ve geri dönüştürülmüş ince agrega üzerinde yapılan elek analizi	22
Şekil 3.2 Yayılma tablasının görünümü.....	26
Şekil 4.1 Köpük beton karışımlarının işlenebilirliği.....	30
Şekil 4.2 a) 7 günlük ve b) 28 günlük kürleme sonrası karışımların basınç dayanımı	32
Şekil 4.3 a) 7 günlük ve b) 28 günlük kürlemeden sonra karışımların eğilme mukavemeti	33
Şekil 4.4 Farklı karışımların taze (a) ve sertleştirilmiş (b) yoğunluğu	35
Şekil 4.5 Farklı karışımların su emme (a) ve görünür gözeneklilik (b).....	37
Şekil 4.6 Farklı karışımların aşınma kütle kaybı	38
Şekil 4.7 Çeşitli karışımların kapilerite katsayısı.....	40
Şekil 4.8 (a) ve (b): Çeşitli karışımların kuruma büzülmesi	41
Şekil 4.9 (a) ve (b): Yüksek sıcaklıklara maruz bırakılan ve hava soğutmalı karışımların basınç dayanımı	44
Şekil 4.10 (a) ve (b): Yüksek sıcaklıklara maruz kalan ve hava soğutmalı karışımların eğilme dayanımı.....	45
Şekil 4.11 (a) ve (b): Yüksek sıcaklıklara maruz bırakılan ve havayla soğutulan karışımların kütle kaybı.	47
Şekil 4.12 (a) ve (b) Yüksek sıcaklıklara maruz bırakılan ve su soğutmalı karışımların basınç dayanımı	49
Şekil 4.13 (a) ve (b): Yüksek sıcaklıklara maruz bırakılan ve su soğutmalı karışımların eğilme dayanımı.....	50
Şekil 4.14 (a) ve (b): Yüksek sıcaklıklara maruz kalan ve hızla su ile soğutulan karışımların kütle kaybı	52
Şekil 4.15 800°C'ye maruz bırakılan ve kademeli veya hızlı bir şekilde soğutulan numunelerin karşılaştırmalı kütle kaybı	53
Şekil 4.16 Farklı karışımların ısı iletkenliği (a) ve sertleştirilmiş yoğunluğun ısı iletkenliğe oranı (b).....	54
Şekil 4.17 Hava soğutmalı numuneler (GDA0TKA0 (a, b), GDA50TKA50 (c, d)) ve su soğutmalı numuneler (GDA0TKA0 (e, f), GDA50TKA50 (g, h))	56

TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 2.1 Köpük beton yoğunlukları ve kullanım alanları	7
Tablo 2.2 Taban külünün mühendislik özellikleri	9
Tablo 2.3 Taban külünün kimyasal bileşimi	10
Tablo 2.4 Türkiye'deki bazı kömür ve linyit yakıtlı santrallere ait bilgiler	11
Tablo 3.1 Bu çalışmada kullanılan Portland çimentosunun fiziko-kimyasal özellikleri	21
Tablo 3.2 Karışım ve kürede kullanılan suyun özellikleri	22
Tablo 3.3 Köpük ajanının özellikleri	23
Tablo 3.4 Farklı karışımların karışım oranları	24
Tablo 3.5 Bu çalışmada yapılan deneyler ve diğer detaylar	25

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

kg	: Kilogram
cm	: Santimetre
µm	: Mikrometre
g	: Gram
Na₂SO₄	: Sodyum sülfat
°C	: Santigrat derece

Kısaltmalar

DKY	: Doygun kuru yüzey
UGH	: Ultrases geçiş hızı
vd. ,	: ve diğerleri
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
ASTM	: American Society For Testing and Materials
ACI	: American Concrete Institute

1. GİRİŞ

Hücreli veya köpük beton, orta yoğunluğu 1600 kg/m^3 'ün altında olan hafif, gözenekli ve yalıtkan bir kompozit malzeme sınıfıdır ve başlıca kullanım alanları akustik ve yalıtım panelleridir (Gökçe vd., 2019; Kuzielová vd., 2016). Köpük beton uygulaması oldukça geniş olmasına rağmen, üretiminde genellikle daha düşük bir agrega içeriği kullanıldığından, toplam bağlayıcı malzemelerin (örneğin, Portland çimentosu) geleneksel betondan daha büyük olduğu bildirilmektedir (Gökçe vd., 2019; Kuzielová vd., 2016). Hammaddelerin daha fazla kullanılması, kaynakların tükenmesine ve çevresel bozulmaya yol açabilir (Monteiro vd., 2017). Bu, aslında, köpük betonda daha yüksek bağlayıcı kullanımının ekolojik ayak izini azaltmak için doğal (Amran vd., 2021; Debbarma, Ransinchung, vd., 2020) ve yan ürün (Debbarma, Selvam, vd., 2020; S. Singh vd., 2018) kökenli sürdürülebilir malzemelerin kullanımını uygulayan çok sayıda çalışma ile sonuçlandı. Sürdürülebilir çimento esaslı malzemelerin en yaygın türleri (aynı zamanda ek çimento esaslı malzemeler) arasında, uçucu kömür külü ve yüksek fırın cürufu son birkaç on yılda en baskın malzemelerden ikisi olmuştur (Xu vd., 2014). Bu iki yan ürün malzemesinin kullanılmasının faydalarına rağmen, kömürsüz elektrik (örneğin yenilenebilir enerji) (Patuleia ve Littlecott, 2019), karbon nötrlüğü (Chen, 2021) ve karbonsuz çelik teknolojilerindeki (yeşil enerji kullanımı yoluyla) mevcut eğilimler. hidrojen) (Bhaskar vd., 2020), kömür uçucu külü ve belirli cürufu gibi endüstriyel atık yan ürünlerinin üretimindeki potansiyel kaymayı ifade eder (Juenger vd., 2019). Köpük betonun ekolojik ayak izinin büyük bir kısmını bağlayıcı oluştursa da hacim olarak betonun en büyük kısmını agregalar oluşturmaktadır (Arellano-Aguilar vd., 2014). Ek olarak, köpük betonun yoğunlukla bir yalıtım malzemesi olarak kullanılması amaçlandığından, mekanik özellikleri önemli ölçüde bağımlı değildir. Bu nedenle köpük beton üretiminde doğal agregaların sürdürülebilir ve geri dönüşümlü agregalarla değiştirilmesi önemlidir. Bu bağlamda, bu çalışma, köpük beton üretmek için taban külü ve kireçtaşı kumunun yanı sıra geri dönüştürülmüş ince agrega kombinasyonunu kullanmayı amaçlamıştır.

Kireçtaşı, dünya çapında yaygın olarak dağıtılan, dikkat çekici derecede yüksek saflığa sahip, doğal olarak oluşan karbonat bazlı bir kayadır (Oates, 2008). Aşırı ısıya maruz

kaldığında kalsiyum okside (ayrıca sönmemiş kireç olarak da adlandırılır) dönüşebilen CaCO_3 'ün hakim olduğu bir kimyasal bileşime sahip beton üretiminde yaygın olarak kum olarak kullanılır (Houngaloune vd., 2010). Bu endotermik süreç, inşaatta çıkarılan toplam kireçtaşının yaklaşık %80'inin kullanıldığı tahmin edildiği için Portland çimentosu üretiminin önemli bir bileşenidir (Soni ve Nema, 2021). Portland çimentosu üretimi için kullanılmasının yanı sıra, betondaki kireçtaşı, boşluk içeriğini azaltmak ve çekirdeklenme alanları sağlamak ve erken hidrasyonu teşvik etmek için bir dolgu görevi görebilir (Zhang vd., 2016), bu da sonuç olarak betonun hidrasyonu sürecini iyileştirebilir (Wang vd., 2018). Bu bağlamda, kalkerin genel içeriğinin (Zhang vd., 2016), partikül boyutunun (Vance vd., 2013) ve yüzey yapısının (Bentz vd., 2015) üretilen beton üzerindeki etkisi üzerinde en baskın etkiye sahip olduğuna inanılmaktadır (Vance vd., 2013).

Taban külü ise fırınların tabanından toplanan kömür gibi yanmış malzemelerin kaba, taneli ve yanmaz kalıntılarını ifade eder (Bheel vd., 2021). Kömür dip külünün, kömür yakılmasından sonra (ul Haq vd., 2014) fırında kalan toplam malzemenin %20'sini oluşturduğu ve partiküllerin kaba ile ince agrega boyutları arasında değiştiği (Singh ve Siddique, 2015) bildirilmektedir. Bu, megavat enerji üretimi başına 0,6 ila 2,1 ton taban külü anlamına gelir (Jayaranjan vd., 2014). Üretilen taban külü ek bir çimentolu malzeme sağlamak için öğütülebilse de, betonda kumun yerini almak için ince agrega olarak da kullanılabilir (Rafieizonooz vd., 2016). Kömür taban külünün fiziksel görünümü, üstün aşınma direncine sahip doğal nehir kumuna benzer (Singh ve Siddique, 2015) ve doğal nehir kumundan daha düşük genel büzülme (Singh ve Siddique, 2014).

Geri dönüştürülmüş beton agregası (kırılmış beton olarak da adlandırılır), sürdürülebilirlik ve maliyet etkinliği etkileri olabilen inşaat ve yıkım atıklarının bir parçasıdır (McNeil ve Kang, 2013). Tarihsel olarak, geri dönüştürülmüş beton agrega kullanımı, binaların aşırı yıkımı nedeniyle II. Dünya Savaşı'ndan sonra başlamıştır (McNeil ve Kang, 2013), ancak kısa sürede kaynakların korunması ve atıkların azaltılması için etkili bir yaklaşım olduğu bulundu. Bu bağlamda, Ref. (Xing vd., 2022), atık betonun toprağa doldurulmasından kaçınıldığında çevresel etkinin %15'e kadar azaltılabileceğini bildirmiştir. Betonun geri dönüştürülmesinin önemli faydaları

olmasına rağmen (McNeil ve Kang, 2013), daha yüksek su emme ve daha düşük geri dönüştürülmüş beton agregası yoğunluğu (bağlı çimentolu malzemeler nedeniyle (Evangelista ve De Brito, 2010; McNeil ve Kang, 2013)), geri dönüştürülmüş agregalarla üretilen betonların kalitesini düşürür. Bu, aslında, beton üretiminde ince boyutlu geri dönüştürülmüş agregalar kullanıldığında daha önemli olduğu bildirilmiştir (örneğin, (Evangelista ve de Brito, 2007; Zhao vd., 2015)). Sonuç olarak ve mevcudiyetine rağmen, ince boyutlu geri dönüştürülmüş agrega, yapısal taşıyıcı ve yüksek dayanımlı beton üretiminde yaygın olarak kullanılmamaktadır (Bogas vd., 2016). Bu nedenle, bu çalışmada, yalıtım özellikleri nedeniyle yaygın olarak kullanılan ve özellikle maliyet açısından rekabetçi bir uygulama olarak kullanıldığında tercih edilen köpük betona geri dönüştürülmüş ince agrega dahil edilmiştir. İnce boyutlu geri dönüştürülmüş beton agrega kullanımı, doğal agregalara kıyasla daha düşük bir yoğunluğa sahipken betonun gözenek bağlantısını azaltabilir (Evangelista ve de Brito, 2007; Fan vd., 2015).

Kireçtaşı kumunu değiştirmek için geri dönüştürülmüş ince agrega ile taban külü kombinasyonu sürdürülebilir bir beton üretebilse de, bu malzemeleri köpük beton üretimine dahil eden yalnızca birkaç çalışma vardır (örneğin, (Monu vd., 2020; Pasupathy vd., 2021; Sharipudin ve Ridzuan, 2013; Zou vd., 2020)). Sharipudin vd. (2012), örneğin, geri dönüştürülmüş ince agrega ve atık kağıt çamuru ile sağlanan köpük betonun performansını değerlendirdi. Ancak bu çalışmada sadece mekanik özellikler değerlendirilmiştir. Pasupathy vd. (2021), geri dönüştürülmüş ince agregalı köpük jeopolimeri üzerinde daha kapsamlı bir çalışma yürütmüş ve taze köpük betonun oturmasında bir azalma olduğunu bildirmiştir. Bunun, aslında, hava kabarcıklarının çökmesinden kaynaklanan taze köpük betonun kararsızlığına değindiği bildirildi (Pasupathy vd., 2021). Büyük katkılarına rağmen, termo-dayanıklılık özellikleri önemli ölçüde değerlendirilmemiş veya tartışılmamıştır. Aynı şekilde Monu vd. (2020) ve Zou vd. (2020) köpüklü asfalt karışımları için geri dönüştürülmüş ince ve kaba beton agrega kullandı. Elde ettikleri sonuçlar, geri dönüştürülmüş beton agregası ile sağlanan köpük asfalt karışımlarının üstyapıda temel ve alt temel seviyelerinde kullanılmasının uygunluğunu göstermiştir. Gencel vd., (2021) ince boyutlu geri dönüştürülmüş agrega kullanmış ve geri dönüştürülmüş agreganın köpük betonun fiziko-mekanik özellikleri üzerindeki etkisini değerlendirmiştir. İnce boyutlu

geri dönüştürülmüş agrega ilavesinin betonun mekanik özelliklerini azalttığını ve betonun gözenekliliğini ve su emilimini arttırdığını bildirmişlerdir (Gencel, Oguz, vd., 2021).

Yukarıdaki literatür incelemesine dayanarak, beton katkı maddesi olarak farklı materyallerin kullanımı konusunda yapılmış çalışma sayısı oldukça fazla olmasına rağmen (Bayraktar, 2021a; 2021b; Kaplan ve Bayraktar, 2021) hiçbir çalışma, köpük betonun fiziko-mekanik ve termo-dayanıklılık özellikleri üzerinde kireçtaşı kumunun veya geri dönüştürülmüş beton agregasının başka bir ince boyutlu agrega (örn. taban külü) ile birleşik etkisini değerlendirmemiştir. Sonuç olarak, bu araştırma boşluğunu ele almak için, bu çalışmada köpük betona kireçtaşı kumunun yanı sıra taban külü ile geri dönüştürülmüş ince beton agregası dahil edilmiştir. Bu bağlamda üretilen köpük betonun fiziko-mekanik ve termo-dayanıklılık özelliklerini değerlendirmek için akışkanlık, basınç ve eğilme dayanımı, taze ve sertleşmiş yoğunluk, görünür gözeneklilik, su emme, aşınma gibi bir dizi kapsamlı test, kuruma büzülmesi, emicilik, termal iletkenliğin yanı sıra yüksek sıcaklığa maruz kalmanın etkileri ve ilgili soğutma rejimi gerçekleştirilmiştir. Bu testler daha sonra, test sonuçlarının mikroyapısal bir değerlendirmesini sağlamak için taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri ile birleştirilmiştir. Bu çalışmanın bulguları, çevre dostu köpük beton üretme, doğal kaynakları koruma ve nihayetinde dairesel bir malzeme akışını savunarak atık depolamanın etkisini azaltma potansiyelini ortaya koymaktadır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

2.1 Köpük Beton

Hafif betonun bir türü olan köpük beton, hücreli veya gözenekli beton olarak da adlandırılmaktadır. Köpük beton, çimento, su ve agrega karışımına köpük ajanı yardımıyla oluşturulan köpüğün ilavesi ile oluşmaktadır. Yapısında hacminin %75-80 oranında birbirinden bağımsız kapalı gözenekler bulunmaktadır. Köpük beton, yapılarda iç ve dış duvar imatları ve yapı zeminlerde uygulanan tesviye imatları yerine kullanılması öngörülen hafif, ısı ve ses yalıtımını sağlayan alternatif bir yapı ve yalıtım malzemesidir (Tuzlak, 2017).

Köpük beton ilk olarak 1914 yılında Aylsworth ve Dyer tarafından daha sonra 1923'te Bayern ve Erikson tarafından patenti alınmıştır. Ancak 21. yüzyılın başlarında hafif bir yapı malzemesi olarak kullanımı yaygınlaşmaya başlamıştır (Nambiar ve Ramamurthy, 2006). Jones ve McCarthy, 2005 yılında köpük beton tarihçesini, yangın dayanımı, ısıl iletkenlik ve akustik özelliklerini araştırmışlardır. Ayrıca dünya üzerinde yapılmış olan çalışmalar üzerine değerlendirmelerde bulunmuşlardır. Yangın dayanımı, ısı iletkenlik ve akustik özellikleri üzerine görüşlerini bildirmelerine rağmen köpük betonun taze beton özellikleri, durabilitesi ve hava boşluğu sistemi gibi konularla ilgili oldukça sınırlı bilgi vermişlerdir (Jones ve McCarthy, 2005).

Köpük jeneratörü yardımıyla üretilen karakteristik (kararlı) köpüğün beton harcın içerisine homojen bir şekilde karıştırılması ile elde edilen gözenekli yapıya sahip hafif beton türüdür. Köpük beton, hafif agrega kullanılarak üretilen betonlarla karıştırılmamalıdır. Üretim sırasında kimyasal reaksiyon olarak sadece çimentonun hidratasyonu gerçekleşmektedir. Sıva, şap, blok harcı ve betonarme betonu olarak kullanılmaktadır. İçerisinde çimento ve agrega haricinde malzeme bulunmamaktadır. Köpük yapımında kullanılan köpük ajanı tamamen doğal bir malzeme olup insan sağlığına hiçbir şekilde zarar vermemektedir (Gencel vd., 2021a).

2.1.1 Köpük Ajanı

Köpük ajanı, beton içerisine hava sürüklemek amacıyla köpük kabarcıklarının elde edilmesini sağlayan köpüğün ana malzemesidir. Köpük ajanı, içerdiği milyonlarca 0-2mm boyutlarındaki hava kabarcıkları sayesinde farklı yoğunluklarda ve yalıtım özelliklerinde beton harç üretimi gerçekleştirilmektedir (Tuzlak, 2017).

Köpük ajanları, beton üretiminde iki farklı yöntemle kullanılmaktadır. Birinci yöntemde köpük ajanında elde edilen köpük, harca ilave edilerek beton üretimi yapılmaktadır. Diğer yöntemde ise köpük ajanı harca, harç yapım esnasında ilave edilip köpük oluşturulmaktadır (Nambiar ve Ramamurthy, 2007; Ören, 2017).

- Organik ajanlar
- Bitkisel esaslı
- Reçine esaslı
- Protein (kan, keratin vb.) esaslı olmak üzere üç türü bulunmaktadır.
- Sentetik ajanlar

Kimya sektöründe deterjan olarak kullanılan kimyasal maddelerden üretilen çözücü esaslı ajanlardır (Bayraktar vd., 2021; Tuzlak, 2017).

2.1.2 Köpük Betonun Özellikleri Ve Kullanım Alanları

Köpük beton, köpük ajanı kullanılarak oluşturulan köpüğün harç içerisinde hava boşlukları meydana getirerek hafif beton olarak da adlandırılan çimento harcıdır. Düşük birim hacim ağırlık, çok az miktarda agrega kullanımı, yüksek akışkanlık, düşük dayanım ve çok iyi ısı ve ses yalıtımı özelliklerine sahiptir. Köpük miktarı ayarlanarak 400-1000 kg/m³ aralığında birim hacim ağırlığına sahip köpük beton üretimi yapılmaktadır. Köpük beton; oda bölmesi, yalıtım malzemesi, dolgu ve taşıyıcı duvar gibi birçok amaç için kullanılmaktadır (Bekaroğlu, 2012; Valore, 1954).

Köpük beton, yapısında bulunan boşluk miktarına bağlı olarak yoğunluğunda değişiklikler göstermektedir (Gencel vd., 2021b). Yoğunluğu düşük köpük beton, yüksek yalıtım özelliklerine ve düşük dayanım değerlerine sahipken, yoğunluğu yüksek köpük beton, daha düşük yalıtım özelliklerine ve yüksek dayanım değerlerine sahiptir. Köpük beton, üretiminde kullanılan malzemelerin yoğunluğu ve yapısına bağlı olarak normal yoğunluktaki betondan %10-50 daha düşük bir ısı iletkenlik katsayısına sahiptir (Ramamurthy vd., 2009).

Köpük beton, yoğunluğa bağlı olarak yapıların iç ve dış duvarlarında ve zeminlerde kullanılan yapı elamanlarının (tuğla, bims, tesviye betonu (şap), sıva, dış cephe mantolama ve süs malzemeleri vb.) yerine kullanılmaktadır. Bünyesinde doğal agrega, çimento ve köpük haricinde malzeme bulunmayan hafif, ısı ve ses yalıtım değerleri uygun ve üretim maliyetleri düşük bir yapı malzemesidir (Tuzlak, 2017).

Yoğunluğuna ve kullanım alanlarına göre sınıflandırılarak Tablo 2.1’de verilmiştir (Tuzlak, 2017).

Tablo 2.1 Köpük beton yoğunlukları ve kullanım alanları (Tuzlak, 2017)

No	Yoğunluk kg/m ³	Kullanım Alanları
1	400-600 kg/m ³	Isı ve ses yalıtımı (Tavan ve yer döşemesi)
2	600-900 kg/m ³	Blok ve panel üretimi
3	900-1200 kg/m ³	Dış ve ana duvar, blok ve panel üretimi
4	1200-1600 kg/m ³	Taşıyıcı özellikli duvar, blok ve panel üretimi

Köpük betonun son yıllarda kullanım alanları aşağıda maddeler halinde verilmiştir:

- Isı yalıtımlı hafif beton üretiminde
- Isı yalıtımlı hafif tuğla, blok tuğla, bims ve duvar panel üretiminde
- Isı ve ses yalıtımlı şap üretiminde
- Çimento ve alçı esaslı hafif plaka üretiminde
- Isı yalıtımlı hafif kiremit ve seramik üretiminde

- Yapılarda bodrum kat, ısı yalıtım amaçlı toprak altı dolgu betonu olarak
- Yapı etrafında oluşabilecek çökmeleri önlemek için hafif dolgu betonu olarak
- Toprak altı su drenajı amaçlı gözenekli dolgu betonu olarak
- Köprü ve köprü yolunda buzlanmayı önlemek amacıyla yol altı dolgu betonu
- Tünel ve kuyu dolgu amaçlı hafif beton üretiminde
- Perlitli sıva ve perlitli hafif beton üretiminde
- Prefabrik bina üretiminde kullanılır (Tuzlak, 2017).

2.2 Taban Külü

Taban külü, fırınların tabanından toplanan kaba, granüle ve yanmaz yanma ürünüdür. Termik santralde üretilen, gözenekli bir yapıya sahip olan taban külünün içeriğini ağırlıklı olarak SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 ve CaO bileşikleri oluşturur (Huang ve Lovell, 1990). Çoğu taban külü kömürle çalışan elektrik santrallerinde üretilmektedir. Ülkemizde 42 termik santral kömürle çalışmaktadır ve bu santraller her yıl yaklaşık 20 milyon ton kül açığa çıkar maktadır. Bu küllerinde %75-80'i uçucu kül, %20-25'i taban külüdür (Özkan vd., 2007). Taban külünün genel görünümü Şekil 2.1'de verilmiştir.



Şekil 2.1 Taban külü genel görünümü (Singh ve Siddique, 2014)

2.2.1 Taban Külünün Genel Özellikleri

Taban külleri çok gözenekli, boyutları ince agrega boyutları arasında yer almaktadır. Yani boyutları 1 mm ile 15 mm arasında değişmektedir. Taban külünün özgül ağırlığı Fe_2O_3 içeriğine göre artışlar göstermektedir (Singh ve Siddique, 2014). Tablo 2.2’de bazı mühendislik özellikleri gösterilmektedir.

Tablo 2.2 Taban külünün mühendislik özellikleri (Singh ve Siddique, 2014)

Tane özgül ağırlığı	Kuru birim hacim ağırlık (kN/m^3)	Su emme (%)	Optimum nem içeriği (%)	Boşluk oranı (n)
21-27	7,2-16	0,8-2,0	13,8-26,2	0,66-1,05

Taban külünün kullanım alanları;

- Agrega
- Gürültü bariyerleri
- Temel malzemesi
- Yol inşası
- Sanat malzemeleri

Ayrıca çimento ile karıştırılarak yalıtımlı yol yapımında kullanılabilir. Taban külünün beton atıkları ve metallerle kimyasal olarak birleşimi izolasyon sağlar (Yüksel ve Bilir, 2007).

2.2.2 Taban Külünün Kimyasal Bileşimi

Taban külü; silis, demir, magnezyum, kalsiyum, alüminyum oksit ve sülfat içermektedir. Taban külünün kimyasal bileşimi kömürün cinsine ve yanma sıcaklığına göre değişmektedir (Kim ve Lee, 2011). Tablo 2.3’te taban külünün kimyasal bileşimi verilmiştir.

Tablo 2.3 Taban külünün kimyasal bileşimi (Kim ve Lee, 2011)

Bileşikler	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	SO ₃
Taban Külü	%0-22	%21-60	%10-37	%5-37	%0-4	-

Ayrıca taban külünün bileşiminde titanyum, fosfor, berilyum, yanmamış karbon ve mangan da çok az miktarda bulunabilmektedir (Albuquerque vd., 2011; Binici vd., 2008).

Taban külü bazı durumlarda çürütücü özellik gösterebilmektedir. Taban külünün çürütücü özelliğini tespit etmek için pH, elektrik direnci, çözünebilir klorür ve sülfat içeriği incelenmelidir. Yani pH değeri 5,5'tan fazla, elektrik direnci 1500 ohm-santimetreden fazla, çözünebilir klorür içeriği 200 ppm'den az ve çözünebilir sülfat içeriği 1000 ppm'den az olması gerekir (Kim ve Lee, 2011). Tablo 3 incelendiğinde SiO₂ oranı oldukça yüksektir. Bu nedenle, sıkıştırma işlemlerinde iyi bir sıkışmanın elde edilmesinde problem ortaya çıkmaktadır (Özkan vd., 2007).

2.2.3 Taban Külünün Elde Edilmesi

Taban külleri termik santraller ve atık yakma tesislerinde oluşmaktadır. Türkiye'de 42 kömür ve linyit yakıtlı santral bulunmaktadır ve kurulu gücü 20,323 MWe'dır. Yıllık elektrik üretimi yaklaşık 106,464 GWh'dır. Bazı santrallere ait bilgiler Tablo 2.4.'te gösterilmiştir (URL-1, 2021).

Tablo 2.4 Türkiye'deki bazı kömür ve linyit yakıtlı santrallere ait bilgiler (URL-1; 2021)

No	Santral Adı	İl	Firma	Yakıt Tipi	Kurulu Güç (MW)
1	Zonguldak Eren (ZETES)	Zonguldak	Eren Enerji	İthal Kömür	2,790 MW
2	Afşin-Elbistan B Termik Santrali	Kahramanmaraş	EÜAŞ	Linyit	1,440 MW
3	Afşin-Elbistan A Termik Santrali	Kahramanmaraş	Çelikler Enerji	Linyit	1,355 MW
4	Cenal Karabiga Termik Santrali	Çanakkale	Alarko Enerji	İthal Kömür	1,320 MW
5	İSKEN Sugözü Termik Santrali	Adana	Steag Enerji	İthal Kömür	1,308 MW
6	İÇDAŞ Bekirli Termik Santrali	Çanakkale	İÇDAŞ Elektrik	İthal Kömür	1,200 MW
7	İskenderun Atlas Termik Santrali	Hatay	Diler Holding Enerji Grubu	İthal Kömür	1,200 MW
8	Soma B Termik Santrali	Manisa	Konya Şeker Enerji	Linyit	990 MW
9	Kemerköy Termik Santrali	Muğla	Limak Enerji	Linyit	630 MW
10	Yatağan Termik Santrali	Muğla	Yatağan Termik Enerji Üret	Linyit	630 MW

Ülkemizde kömürle çalışan santrallerin 13'ünde yaklaşık olarak yılda 4 milyon ton taban külü elde edilmektedir (Yüksel vd., 2011). Taban külleri TS EN 450-1 standartına uygun olmadığından kül dağları ve barajlarda depolanmaktadır. Buralarda depolanan küller çevreye zarar vermektedir. Ayrıca depolanması yüksek masraflara sebep olmaktadır (Valcuende vd., 2015; Yüksel vd., 2011).

Çimento ve beton üretiminde taban külü kullanmanın faydaları şöyle sıralanabilir (Maier ve Durham, 2012):

- Stok sahasının ömrü uzar.
- Yer altı suyu korunmuş olur.
- Hava kirliliği önlenmiş olur.

2.3 Köpük Beton Ve Taban Külü İle İlgili Çalışmalar

Dakman tarafından yapılan çalışmada farklı oranlarda köpük ajanı kullanarak hazırlanmış olduğu köpük beton numunelerine yüksek sıcaklık uygulayarak dayanım olarak en iyi değere ulaşmayı amaçlamıştır. Hazırlanan numuneler 28 gün kür havuzunda tutularak 20, 100, 400 ve 700°C olarak belirlenmiş sıcaklıklarda 3 saat bekletilmiştir. Belirlenen sıcaklıklarda bekletilen numuneler 1 gün (24 saat) soğumaya bırakılmıştır. Numunelerin birim ağırlıkları, basınç dayanımları ve ultra ses geçiş süreleri hesaplanmıştır. Daha sonra EDS analizi ve SEM ile mikro yapıları incelenmiştir. Yapılan deneylerin sonucunda, köpük solüsyonu oranı arttıkça basınç dayanımının, ultra ses geçiş hızının ve elastisite modülünün azaldığı gözlemlenmiştir. 100°C'ye kadar sıcaklığa maruz kalan numunelerde büzülmeden kaynaklı hacimsel küçülmeler meydana gelirken, 100°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda mikro çatlaklar oluşumu nedeniyle boşluk hacimde artış olduğu anlaşılmıştır (Dakman, 2017).

Ören tarafından yapılan çalışmada çimento dozajı ile yüksek fırın cürufunu farklı oranlarda kullanılarak köpük beton numuneleri hazırlanmıştır. Hazırlanan numunelere fiziksel ve mekanik deneyler uygulanmıştır. Deneyler sonucunda numunelerin birim hacim ağırlıkları 926–1132 kg/m³, basınç dayanımları 1–1,62 MPa ve ısı iletkenlik katsayıları 0,208 –0,264 W/mK aralığında tespit edilmiştir. Köpük beton üretiminde, çimento dozajında artışa gerek görülmediği ve kum yerine yüksek fırın cürufu kullanılması uygun bulunmuştur (Ören, 2017).

Tuzlak tarafından yapılan çalışmada agreganın miktarı ve dane boyutları sabit bırakılarak su/çimento oranında, köpük ajanı ve çimento miktarında değişiklik yapılarak köpük beton üretilmiştir. Üretilen numunelerde, numunelerin reolojisini,

dayanım ve ısı iletkenliği özellikleri incelenmiştir. Dayanım ve ısı iletkenlik deneyleri sonucunda elde edilen değerlerin birim hacim ağırlıkla ilişkili olduğu ve numunelerin reoloji özelliklerinin Herschel-Bulkley modeline uygun olduğu saptanmıştır (Tuzlak, 2017).

Atabey tarafından yapılan çalışmada mermer tozu, yüksek fırın cürufu ve uçucu kül gibi sanayi atıklarını hammadde olarak kullanılarak köpük beton blokları üretilmiştir.

Bağlayıcı malzeme olarak CEM I 42,5 R tipi Portland imento ve polipropilen elyafını da imento bağlayıcının %0,5'ine denk gelecek şekilde kullanmıştır. Köpük beton bloklarının üretimi sırasında n köpük metodu tercih edilmiştir. Köpük yoğunluk ölçümlerini köpük makinesinde ürettikten sonra karışıma ilave edilmiştir. Karışımda bulunan tüm bileşenler karışıma eklendikten sonra mekanik yöntemler uygulanarak karışım hazırlanmıştır. 15x15x15 cm boyutlarındaki kalıplar kullanılarak numuneler elde edilmiştir. Numunelerin ısı iletkenlik değerleri 0,14 – 0,20 W/mK arasında elde edilmiştir. Elde edilen değerlerin ticari amaçla hazırlanan gaz betonlarla aynı olduğu saptanmıştır. Mermer tozu kullanılıp hazırlanan numunelerde rötre değerleri %0,09 iken rötre değerinin maksimum olduğu değer filler olarak tamamen uçucu kül kullanılan numunelerde olup %0,11 değer elde edilmiştir. Numunelerin basınç dayanım değerleri ise 1,60 MPa – 4,35 MPa arasında bir değer almaktadır (Atabey, 2018).

Yıldırım tarafından yapılan çalışmada Nevşehir bims agregası ve uçucu kül kullanarak hafif beton üretimi ve üretilen betonların farklı agresif ortamlardaki dayanım özelliklerini incelemiştir. Ayrıca geliştirilen deneyler sonucunda beton dozajının ve beton yaşının da dayanım özelliklerine etkisini incelemiştir. Yapılan deneyler sonucunda, beton üretiminde dozaj artırımının beton dayanımını da artırdığını gzlemilemiştir. Agresif ortam şartlarına bakıldığında tuzlu suda kürlenen numunelerin dayanımları normal şartlarda krlenenlere göre %12, asidik suda kürlenen numunelerin dayanımları da normal şartlarda krlenenlere göre %17 azaldığını gzlemilemiştir (Yıldırım, 2007).

Yüksel tarafından yapılan çalışmada taban külünün briket yapımında ince agrega olarak kullanılmasını araştırmıştır. Çalışmada taban külü ile kumun deneysel olarak yer değiştirmesi sağlanmıştır. Üretilen numunelerde taban külünün basınç dayanımı ve donmaya karşı dayanıklılığı düşürdüğü tespit edilmiştir. Aynı zamanda yapı ağırlığını düşürdüğü tespit edilmiştir (Yüksel vd. , 2011).

2.4 Atık Malzeme Olarak Beton

Beton malzemesi, kullanım alanlarında çeşitli sebeplerden ötürü atık hale gelmektedir. Bu sebeplerden birincisi hazır beton üretimi sırasında çıkan atıklar, ikincisi ise servis ömrünü tamamlamış binaların yıkımından sonra oluşan atıklardır.

Hazır beton üretimi süreci incelendiğinde, gerek işletmeden dolayı, gerek müşteriden dolayı, gerekse üretimin doğasından dolayı atık oluşumunun kaçınılmaz olduğu açıkça görülmektedir. Oluşan bu atıklar nedenlerine göre şu şekilde gruplandırılabilir (Andaç ve Oral, 2016):

- Transmikserlerde boşaltılamayan ve tamburda kalan betonlar,
- Pompaların kazanlarında kalan betonlar,
- Müşteri tarafından geri iade edilen betonlar,
- Hatalı üretim olan betonlar,
- Sevkiyat veya üretim sırasında araçlardan ve dolum ünitelerinden kaynaklı kaçakların sebep olduğu atıklar.

Sayıları her geçen gün artan kentsel dönüşüm projeleri, hazır beton sektörüne önemli bir hareketlilik getirmiştir. Türkiye’de en çok tercih edilen yapı malzemesi olarak kullanılan betonun tüketiminde ve yıkım aşamasında ortaya çıkan atık malzeme miktarında önemli bir artış yaşanmıştır (Karagüler ve Sungur, 2020).

Günümüzde atık malzemelerin yeniden kullanılması ile ilgili çalışmalar oldukça önem kazanmaktadır. Ülkemizde son yıllarda meydana gelen depremlerde yıkılan binalardan dolayı oluşan beton atıklarının, sahillerde dolgu olarak kullanılması oldukça sakıncalı

durumlar meydana getirmiştir. Bunun yanında, büyük yerleşim bölgelerinde doğal kaynakların bulunamaması, bulunan kaynakların ise şehir merkezinden uzak olması ve ağır malzemelerin taşınmasının maliyeti arttırması, bu araştırmaları önemli kılan bir sebeptir. Bir diğer sebep ise, yıkılan binaların %75'ini betonun oluşturması ve bu atık beton malzemenin hiç değerlendirilmeden atılması ile atıkların döküldükleri yerde kapladıkları alan kaybına ve çevre kirliliğine yol açmasıdır (Döndüren ve Şişik, 2016).

2.4.1 Geri Dönüştürülmüş Agrega

Son yüzyılda sanayi devrimi ile birlikte insanların hayat tarzı, istek ve ihtiyaçları ile öncelikleri büyük oranda değişmiştir (Cetin vd., 2017a; 2017b; Kalayci Onac vd., 2021). Bu süreçte hem dünya genelinde nüfusta önemli bir artış olmuş (Elsunousi vd., 2021; Ozel vd, 2020a, 2020b) hem de nüfus büyük oranda kent merkezlerinde yoğunlaşmıştır (Karacocuk vd., 2022; Kilicoglu vd., 2020; Şen vd., 2018;). Dünya nüfusunun artmasına ek olarak kentsel alanlarda yoğunlaşması, pek çok sorunu da beraberinde getirmiştir (Cetin vd., 2021; Zeren Cetin ve Sevik, 2020). Bu sorunların başında şüphesiz kentsel alanlardaki kirlilik gelmektedir (Cetin vd., 2019a; 2019b; Isinkaralar vd., 2022; Sevik, 2021). Dünya genelinde hava (Arıcak vd., 2019; Cesur vd., 2021; Sevik vd., 2019a; 2019b), su (Ucun Ozel vd., 2019; 2020) ve toprak (Altera vd., 2019; Bayraktar vd., 2019a; 2019b; 2019c) önemli ölçüde kirlenmiş, özellikle hava kirliliği öyle ciddi boyutlara ulaşmıştır ki her yıl milyonlarca insanın ölümüne sebep olan bir sorun haline gelmiştir (Ghoma vd., 2022; Savas vd., 2021). Hava kirliliği, atmosferin bileşiminin bozulmasına sebep olarak küresel iklim değişikliğinde önemli bir rol oynamış (Canturk ve Kulac, 2021; Cetin 2020a; 2020b) ve küresel iklim değişikliği günümüzde yangın (Ertugrul vd., 2019; 2021), kuraklık (Koc, 2021a; 2021b), radyasyon ve UV-B artışı (Ozel vd., 2021c; 2021d), tür ve popülasyon kayıpları (Ozkazanc vd., 2019; Varol vd., 2021) gibi problemleri de beraberinde getiren küresel sorunlarından birisi haline gelmiştir (Varol vd., 2022).

Çevre kirliliği aynı zamanda ekosistemi tehdit eden büyük bir sorundur (Arıcak vd . , 2020; Key vd . , 2021; Koc, 2021c). Çünkü canlıların bütün fenotipik karakterleri genetik yapıları (Imren vd., 2021; Özel vd., 2021; Yigit vd., 2018) ile çevre faktörlerinin (Koç ve Nzokou , 2022; Kravkaz Kuscı vd., 2018a; 2018b; Sevik vd.,

2017; Turkyilmaz vd., 2020; Yucedag vd., 2019) karşılıklı etkileşimi altında şekillenmektedir (Sevik vd., 2020a; 2020b; 2021) ve çevre kirliliği canlılar ve özellikle de besin pramidinin temelini oluşturan bitkilerin gelişimini önemli ölçüde etkilemektedir (Cetin vd., 2020; Turkyilmaz vd., 2018a; 2018b). Çünkü çevre kirliliği canlılar açısından önemli bir stres etmenidir (Sevik vd., 2019c; 2019d; Turkyilmaz vd., 2019) ve stres faktörleri bitki gelişimini önemli ölçüde sekteye uğratmaktadır (Koc vd., 2020d; 2021e; Topacoglu vd., 2016a; 2016b; Yigit vd., 2016a; 2016b). Sanayide hammadde olarak kullanılan elementlerin birçoğu çevre için kirletici karakterdedir (Sevik vd., 2020c; Turkyilmaz vd., 2018c). Bu elementlerin kaynaklarından çıkartılarak salınımı sonucunda çevre kirliliği önemli miktarda artmaktadır (Çobanoğlu ve Şevik, 2021a; 2021b; Özel vd., 2021d).

Sanayi faaliyetlerinin yarattığı işgücü ihtiyacı nüfusun belirli alanlarda yoğunlaşmasına sebep olmakta ve böylece kentleşme sorunu ortaya çıkmaktadır. Birim alanda yaşayan insan sayısının artması, yeni yerleşim alanlarına olan ihtiyacı artırmakta ve böylece yeni binaların yapımı zorunlu hale gelmektedir (Bayraktar 2020a; 2020b; 2020c; Kilicoglu vd., 2021). Günümüzde binalar büyük oranda beton kullanılarak yapılmaktadır (Bayraktar ve Kaplan, 2021a; 2021b; Gencel vd., 2021a; 2021b). Dolayısıyla artan yerleşim alanı ihtiyacını karşılamak amacıyla yeni binaların yapılması aynı zamanda büyük oranda beton kullanımını zorunlu kılmaktadır (Bayraktar vd., 2021a; 2021b; 2021c; Kaplan vd., 2021a).

Beton içerisinde sanayi atıklarının kullanılması çevre kirliliğinin azaltılması, maliyetin düşürülmesi, doğal kaynaklar üzerindeki baskının azaltılması gibi pek çok açıdan büyük önem taşımaktadır (Altera vd., 2021; Bayraktar vd., 2019d; Gencel vd., 2021c;). Geri dönüşümlü malzemelerin kullanımı çevresel kirliliği önemli ölçüde azaltırken (Bayraktar, 2020d; Gencel vd., 2022) aynı zamanda tükenmekte olan doğal kaynaklar üzerindeki baskıyı da azaltmaktadır. Tükenmekte olan kaynaklardan birisi olan doğal agrega kaynakları, yakın bir tarihte agrega ihtiyacını doğuracaktır. Bu durum, atık betonlar üzerinden geri dönüşüm agregaları üretmeyi teşvik etmektedir.

İnşaat sektöründe en fazla kullanılan ve en çok atık oluşturan yapı malzemesi betondur (Bayraktar vd., 2021d; 2021e; 2021f). Beton üretiminde büyük oranda doğal kaynaklar

kullanılmaktadır ve bu doğal kaynaklar tüketilirken, kentsel dönüşüm veya yeniden yapılaşmada beton çevresel kirliliği artırmaktadır (Bayraktar, 2019; Kaplan vd., 2021b; 2021c; 2021d; 2021e). Sürdürülebilir hayatta inşaat yıkıntı atıklarının çevreye verdiği zarar geri kazanılmış agrega kullanımını zorunlu hale getirmektedir (Demirel vd., 2015).

Kentsel dönüşüm projelerinde en yaygın yapı malzemesi olarak kullanılan betonun bileşenlerinden biri olan agreganın, uygun kalite, yeterli miktar ve makul fiyat ile temin edilebilmesi gelecekte iyice zorlaşacağından dolayı, çevresel ve ekonomik kazanımlar sağlamak için, ortaya çıkan molozların geri dönüşüm yoluyla beton agregası olarak değerlendirilmesi teşvik edilmelidir (Karagüler ve Sungur, 2020).

Atık betonlardan elde edilen geri dönüşüm agregası (GDA) ile yapılan çalışmalarda, agreganın kalitesinin elde edildiği atık betonun kalitesine bağlı olduğu vurgulanmaktadır. Ayrıca karışımda çimento hamuruyla iyi bir aderans sağladığı, daha düşük bir yoğunluğa sahip olduğu, Los Angeles aşınma kaybı ve su emme yüzdesinin normal agregaya göre yüksek olduğu belirtilmektedir. Ayrıca GDA ile elde edilen betonun basınç dayanımı ve elastisite modül değerleri eski betonun su/çimento (s/ç) oranına, çimento miktarına, agrega kalitesine, betonun boşluğuna ve çimento hamuru agrega aderansına bağlı olduğu gösterilmiştir (Demirel vd., 2015).

İnşaat sektöründe kullanılan malzemelerin %50'sinin doğal kaynaklardan elde edildiği birçok araştırmacı tarafından vurgulanmaktadır. Atık betonlardan elde edilen geri dönüşüm agregası ile yapılan çalışmalarda, agreganın kalitesinin elde edildiği atık betonun kalitesine bağlı olduğu gösterilmektedir. Yapılan çalışmalar sonucunda da atık betonların geri dönüşüm agregası olarak beton üretiminde kullanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır (Bayraktar, 2021; Karagüler ve Sungur, 2020).

Andaç ve Oral'ın "Hazır Beton Üretiminde Atık Yönetimi: Türkiye'deki Taze Beton Atığının Durumu" çalışmasında buldukları sonuç şu şekildedir:

"500 bin m³ betonun üretilebilmesi için yaklaşık 900 bin ton agrega kullanılması gerektiği düşünüldüğünde geri dönüşüm yapılmadan bertaraf edilen betonla birlikte 900 bin ton agreganın da atık hale geldiği ve geri dönüşüm yapılması sonucunda

yaklaşık 800 bin ton agreganın tekrar kullanılabilirdiği görülmektedir. Çevre açısından yararı ise öncelikle doğaya verilecek yıllık 500 bin m³ beton atığından kurtulmak ve üretim için doğadan temin edilen agreganın yılda 800 bin ton azaltılması olacaktır.”

Pek çok çalışmada, geri dönüştürülmüş agrega kullanımının taze beton ve mekanik özellikler üzerinde genellikle su ihtiyacını artırması, basınç dayanımında düşüşe sebep olması, poroziteyi artırması gibi olumsuz etkileri bildirilmiş olsa da maliyet üzerinde %34-41, CO₂ salınımında ise %23-28 düşüşe olanak tanınması dikkate alınması gereken bir noktadır (Kadiroğlu vd., 2017).

Geri dönüştürülmüş betonun niteliklerinin daha iyi olması için geri dönüştürülmüş agrega içerisindeki 0-2 mm inceliğindeki bölümün doğal kum ile değiştirilmesi gerekmektedir. Araştırmacılar tarafından eski beton kırığı agregalı betonlar üzerinde yapılan basınç dayanımı testleri sonucunda karışımdaki eski beton kırığı oranının artmasıyla beton basınç dayanımının düştüğü belirlenmiştir. Atık beton agregası ile üretilen betonların basınç dayanımlarının normal betona göre %20 veya bazen daha yüksek oranda düşme gösterdiği belirlenmiştir. Eğer kullanılan atık agreganın elde edildiği orijinal beton kaliteli ve su/çimento oranı da iyi ayarlanmış ise doğal agregalarla üretilen betonların basınç dayanım değerlerine ulaşmak ve hatta bu değerleri de aşmak mümkündür (Kılıç ve Kadayıfçı, 2007).

2.4.2 Geri Dönüşüm Agregası İle Yapılan Bazı Çalışmalar

Geri dönüştürülmüş agregalar ile ilgili yapılan bazı çalışmalar incelendiğinde elde edilen sonuçlar şu şekildedir:

Demirel (2012), yüksek lisans tez çalışmasında, yaşı ve sınıfı belli olan beton atıklarından elde edilen iri ve ince agreganın geri dönüşüm agregası olarak bir alt sınıf betonda kullanım olanaklarını incelemiştir. Yaptığı bu çalışmada, kırma iri agrega yerine %0, 10, 20, 30, 40, 50; kırma ince agrega yerine %0, 10, 20, 30, 40, 50 oranların da geri dönüşüm beton agregası kullanmış ve beton örneklerinin 28 ve 90 günlük basınç dayanımlarını, elastisite modülleri birim ağırlık ve su emme oranlarını belirlemiştir. Yaptığı deney sonuçlarından elde ettiği sonuca göre geri dönüştürülmüş beton agregasının beton üretiminde kullanılabileceğini gözlemlemiştir.

Süme (2016), tez çalışmasında kentsel dönüşüm kapsamında oluşacak inşaat yıkıntı atıklarının geri dönüşümünün sağlanarak beton yol kaplamasında kullanılabilirliğini araştırmıştır. Bu çalışması sonucunda, geri dönüşüm agregası kullanım oranı arttıkça beton basınç dayanımının arttığını, eğilmede çekme dayanımının inişli çıkışlı bir grafik gösterdiğini, %100 temizlenmiş geri dönüşüm agregası ile üretilen betonun eğilmede çekme ve basınç dayanımının diğer üretilen deney grupları arasında maksimum sonucu verdiğini ve beton yol kaplamasında kullanılmasının uygun olduğunu açıklamıştır.

Batman (2018), yaptığı tez çalışmasında, hazır beton santrallerinde basınç dayanımına tabi tutulan 3, 7, 28 günlük beton numunelerden geri dönüşüm agregası elde ederek geri dönüşüm agregalı beton ve referans beton üretimleri yaparak üzerinde deneysel çalışmalar yapmıştır. Yaptığı çalışmalar sonucunda, geri dönüşüm agregası kullanılan beton karışımları ile referans betonun deney sonuçları arasında belirgin bir fark olmadığını tespit etmiştir. Çalışmaları doğrultusunda, hazır beton santrallerinde basınç dayanımı vb. deneylere tabi tutulan beton deney atıklarından elde edilen geri dönüşüm agregalarının beton üretiminde kullanılabileceğini gözlemlemiştir.

Altınışik (2013), doktora çalışmasında prefabrikasyon sektöründeki beton moloz atıkları ve prefabrike betondan yapılmış yapıların yıkılması ile elde edilen beton malzemenin değerlendirilmesi gerektiğini düşünerek geri dönüştürülmüş agregalar üzerinde çalışmıştır. Yaptığı deneysel çalışmalar sonucunda, geri kazanılmış iri agrega ve doğal ince agrega ile üretilen betonların basınç ve yarmada çekme dayanımı bakımından istenilen sonucu sağladığını; işlenebilirlik açısından geri kazanılmış iri agrega yüzdesi arttıkça daha kuru kıvamlı bir beton elde edildiğini; geri kazanılmış agregalı betonların statik elastisite modüllerinin normal betonlara göre düşük olduğunu gözlemlemiştir.

Kadiroğlu vd., (2017), yaptıkları çalışmada %0 ile %25 arasında değişen oranlarda geri dönüşüm agregasının doğal agrega ile ikamesinin, üretilen beton karışımlarındaki taze ve sertleşmiş beton üzerine etkilerini araştırmıştır. İkame olarak kullandıkları geri dönüşüm agregasını iki ayrı grupta çalışmaya tabi tutup; birinci grup çalışmada yalnızca doğal agregaların yanında geri dönüşüm agregaları kullanmış ve ikinci grup

çalışmada ise geri dönüşüm agregaları yanında yıkılan binaların atıklarını kullanmışlardır. Bu çalışma sonucunda ise karışım tasarımlarında önemli bir değişiklik yapılmadan %5 oranında geri dönüşüm agregası kullanılabileceğini gözlemlemişlerdir.

Pourghadri ve Şimşek (2018), yaptıkları çalışmada atık betonlardan elde edilen agrega ve bu agrega ile üretilen betonun mühendislik özelliklerini incelemişlerdir. Bu araştırmada, GDA %0, 20, 40, 60, 80 ve 100 olarak kırmataş agregası ile ince ve iri olarak ikame ederek beton üretiminde kullanmıştır. Çimento ağırlığının %20'si oranında uçucu kül ikame ederek beton örnekler üretmiştir. GDA ikameli betonun 28 ve 90 günlük basınç dayanımı, 90 günlük betonlarda ıslanma kuruma sonrası dayanım kaybı ve aderans dayanımını belirlemişlerdir. Çalışmanın sonucunda elde ettikleri veriler şu şekildedir; geri dönüşüm agregasının kırmataşa göre daha yüksek su emme oranına sahip olmasından dolayı geri dönüşüm agrega ikame oranı arttıkça taze betonda çökme değeri azalmıştır. Kontrol betonunun tüm yaşlarda en yüksek dayanımı gösterdiğini ve GDA ikame edildiğinde basınç dayanımında düşüş olduğunu gözlemlemişlerdir. GDA ikameli betonların aderans dayanımı ve ıslanma kuruma sonrası basınç dayanımlarının kontrol betonuna göre daha düşük olduğunu belirlemişlerdir.

Hansen ve Narud (1983), yaptıkları deneysel çalışmalarda eski beton kırığı agregaların, doğal agregalara benzer test sonuçları verdiklerini gözlemlemişlerdir. Xiao vd. (2005) yaptıkları çalışma sonucunda, geri dönüştürülmüş agrega kullanılan betonların elastisite modülünün normal betona göre daha düşük olduğunu vurgulamışlardır. Beton üretiminde %100 geri dönüştürülmüş iri agrega kullanımının elastisite modülünü %45'e kadar düşürdüğünü saptamışlardır. Topçu ve Şengel (2004) yaptıkları çalışma sonucunda, beton üretiminde atık beton agregası kullanımının işlenebilirlik sorununu arttırdığını, özellikle %50'den daha fazla oranda atık beton agregası kullanılması durumunda işlenebilirlik probleminin daha da arttığını gözlemlemişlerdir (Kılıç ve Kadayıfçı, 2007).

3. MATERYAL VE METOD

3.1 Materyal

3.1.1 Çimento

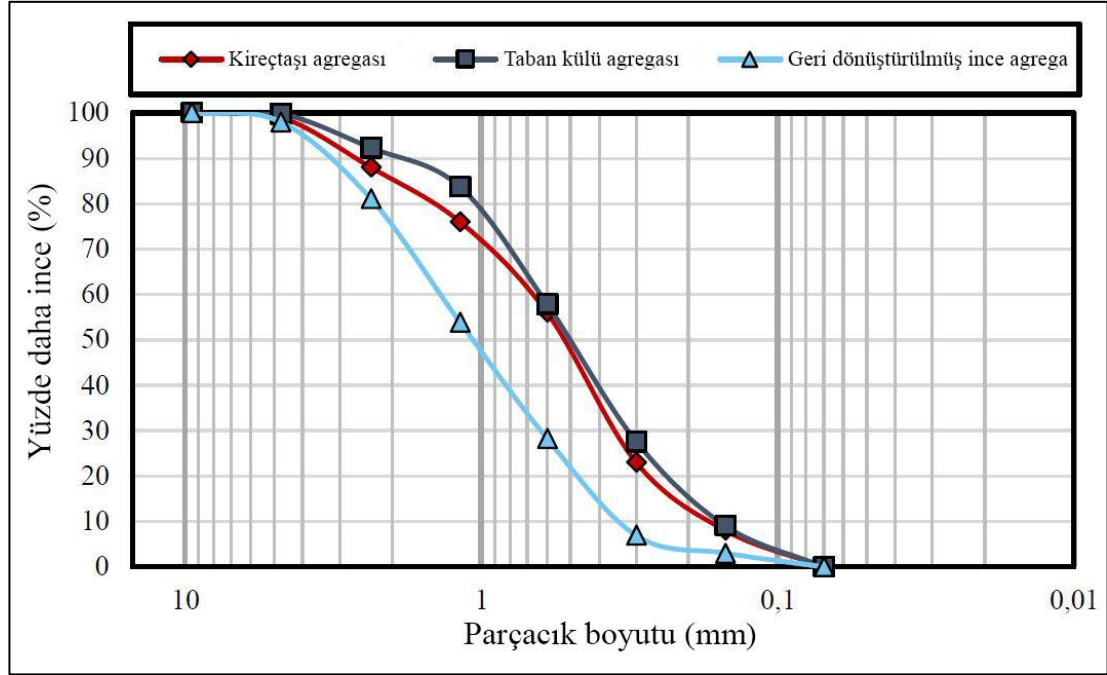
Bu çalışmada, özgül ağırlığı 3,13 ve yüzey alanı 3360 cm²/g olan genel amaçlı Portland çimentosu (tip I) kullanılmıştır. Tablo 3.1, bu çalışmada kullanılan çimentonun fiziko-kimyasal özellikleri hakkında daha fazla ayrıntıyı göstermektedir.

Tablo 3.1 Bu çalışmada kullanılan Portland çimentosunun fiziko-kimyasal özellikleri

Fiziko kimyasal özellikleri	
SiO ₂ (%)	18,8
Al ₂ O ₃ (%)	5,3
Fe ₂ O ₃ (%)	3,4
CaO (%)	63,7
MgO (%)	1,7
SO ₃ (%)	2,7
Na ₂ O _(eqv) (%)	0,8
Özgül ağırlık	3,15
Ayar zamanı (İlk/Son)	165 / 205
Blaine inceliği (m ² /kg)	333

3.1.2 Agregası

Bu çalışmada, özgül ağırlığı sırasıyla 2,61; 2,39 ve 1,64 olan yerel olarak temin edilebilen kireçtaşı, geri dönüştürülmüş ince agregası ve taban külü kullanılmıştır. Şekil 3.1, bu çalışmada kullanılan agregası malzemeleri üzerinde ASTM C136 (International, 2001)'ya dayalı olarak yürütülen elek analizini göstermektedir.



Şekil 3.1 Kireçtaşı agregası, taban kütü agregası ve geri dönüştürülmüş ince agrega üzerinde yapılan elek analizi

3.1.3 Karışım Suyu

Karışımın üretimi ve kürlenme sürecinde Kastamonu Üniversitesi kampüsündeki içilebilir nitelikte, betona zararlı olabilecek organik madde ihtiva etmeyen ve sıcaklığı $20\pm 5^{\circ}\text{C}$ sıcaklığında TS-EN 1008 standartlarına uygun şebeke suyu kullanılmıştır. Karışım ve kür de kullanılan suyun özellikleri Tablo 3.2’de verilmiştir.

Tablo 3.2 Karışım ve kürde 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 Köpük Ajanı

Bu çalışmada, yerel olarak temin edilebilen, özgül ağırlığı 120 g/l ve pH değeri 8,8 olan Sodyum Lauril Sülfat bazlı köpürtücü madde kullanılmıştır. Köpürtücü ajanın özelliklerine ilişkin daha fazla ayrıntı Tablo 3.3’de bulunabilir.

Tablo 3. 3 Köpük ajanının özellikleri

Molekül formülü	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{CH}_2(\text{OCH}_2\text{CH}_2)\text{NOSO}_3\text{Na}$
Aktif madde	70,3%
pH (3% çözelti)	8,8
NaCl + Na ₂ SO ₄	1,2%
Dioksan (C ₄ H ₈ O ₂)	10%
Moleküler ağırlık	496,69 g/mol

3.2 Karışım Oranları

Bu çalışmada, kalker agregaları geri dönüştürülmüş ince agrega ve taban külü agregası ile değiştirilerek toplam 25 karışım hazırlanmıştır. Her bir geri dönüştürülmüş ince agrega ve taban külü agregasının ikame oranları hacimce %10, 20, 30 ve 50'dir. Karışımlar, yazarların önceki deneyimlerine ve ayrıca literatürdeki raporlara dayalı olarak tasarlanmıştır (Gencel, vd., 2021a; Gencel, vd., 2021b). Tablo 3.4, farklı karışımların karışım oranlarını göstermektedir. Tabloya dayalı olarak, karışımlar şu şekilde etiketlenmiştir: GDA ve TKA harfleri sırasıyla geri dönüştürülmüş ince agrega ve taban külü agregasını ifade eder. Her harften sonra gelen sayı, her malzemenin içeriğini % hacim olarak gösterir. Örneğin, GDA50TKA20, %50 geri dönüştürülmüş ince agrega ve %20 taban külü agregası içeren bir köpük beton karışımını temsil eder.

Tablo 3.4 Farklı karışımların karışım oranları

Karışım İsmi	Geri dönüşüm agregası	Taban külü agregası (%)	Çimento (kg/m ³)	Kireçtaşı (kg/m ³)	Geri dönüşüm agregası (kg/m ³)	Taban külü agregası (kg/m ³)	Su (kg/m ³)	Köpük (kg/m ³)
GDA0TKA0		0	400	623	0	0	100	80
GDA0TKA10		10	400	561	0	40	100	80
GDA0TKA20	0	20	400	499	0	79	100	80
GDA0TKA30		30	400	436	0	119	100	80
GDA0TKA50		50	400	312	0	198	100	80
GDA10TKA0		0	400	561	58	0	100	80
GDA10TKA10		10	400	499	58	40	100	80
GDA10TKA20	10	20	400	436	58	79	100	80
GDA10TKA30		30	400	374	58	119	100	80
GDA10TKA50		50	400	249	58	198	100	80
GDA20TKA0		0	400	499	115	0	100	80
GDA20TKA10		10	400	436	115	40	100	80
GDA20TKA20	20	20	400	374	115	79	100	80
GDA20TKA30		30	400	312	115	119	100	80
GDA20TKA50		50	400	187	115	198	100	80
GDA30TKA0		0	400	436	173	0	100	80
GDA30TKA10		10	400	374	173	40	100	80
GDA30TKA20	30	20	400	312	173	79	100	80
GDA30TKA30		30	400	249	173	119	100	80
GDA30TKA50		50	400	125	173	198	100	80
GDA50TKA0		0	400	312	288	0	100	80
GDA50TKA10		10	400	249	288	40	100	80
GDA50TKA20	50	20	400	187	288	79	100	80
GDA50TKA30		30	400	125	288	119	100	80
GDA50TKA50		50	400	0	288	198	100	80

3.3 Numune Hazırlama Ve Test Yöntemleri

Bu çalışmada, suya %5 (ağırlıkça) oranında sodyum lauril sülfat bazlı köpürtücü madde ilave edilmiştir. 1 dakikalık bir başlangıç süresi için 140 rpm'de karıştırma malzemelerinin kurutulması için standart bir karıştırıcı kullanıldı. Bunu takiben su eklenmiş ve daha sonra 140 ve 285 rpm'de 1 dakika daha malzemeler karıştırılmaya devam edilmiştir.

Üretilen numunelerin fiziksel özelliklerini değerlendirmek için, sırasıyla ASTM C642 (ASTM, 2013) ve EN 1015-18 (EN 1015-18, 2018) temelinde 50×50×50 mm numuneler üzerinde su emme ve görünür porozite ve kapilerite testleri gerçekleştirilmiştir. Mekanik özelliklere gelince, sırasıyla ASTM C349 (A.

C109/109M-16a, 2016) ve ASTM C348 (ASTM C348, 2019) temel alınarak 50×50×50 ve 40×40×160 mm numuneler üzerinde basınç ve eğilme dayanımı testleri gerçekleştirilmiştir. Numunelerin termo-dayanıklılık özelliklerini değerlendirmek için kuruma büzülmesi (ASTM C596 (ASTM C596, 2018) temel alınarak), yüksek sıcaklık ve aşınma veya aşınma direnci (ASTM C 944 (ASTM, 2012a) temel alınarak) testleri gerçekleştirilmiştir. Ek olarak, üretilen numunelerin mikroyapısal koşullarını değerlendirmek için GDA0TKA0 ve GDA50TKA50 numuneleri üzerinde taramalı elektron mikroskobu (SEM) yapılmıştır. Tablo 3.5, kullanılan numune boyutları ve izlenen standartlar dahil olmak üzere, bu çalışmada yürütülen testlerin daha ayrıntılı ayrıntılarını sağlar.

Tablo 3.5 Bu çalışmada yapılan deneyler ve diğer detaylar

Test	Standard	Boyut (mm)
Yayılma çapı	ASTM C1437 (ASTM C1437, 2007)	Taze harç
Su emme ve görünür porozite	ASTM C642 (ASTM, 2013)	50×50×50
Eğilme mukavemeti	ASTM C348 (ASTM C348, 1998)	40×40×160
Basınç mukavemeti	ASTM C349 (ASTM C349-08, 2008)	50×50×50
Kuruma büzülmesi	ASTM C596 (ASTM Committee C01.31, 2007)	25×25×285
Kapilerite	EN 1015-18 (EN 1015-18, 2018a)	50×50×50
Yüksek sıcaklık direnci*	(200-400-600-800 °C)**	40×40×160
Aşınma direnci	ASTM C 944 (ASTM, 2012b)	100×100×100
Termal iletkenlik	–	20×50×100

* Mekanik özellikler ve kütle kaybı

** Hava ve su soğutma

3.3.1 Taze Özellikler

Elde edilen taze haldeki kompozitlerin işlenebilirliğinin belirlenmesi için yayılma çapları ASTM C 1437 standartına göre X ve Y doğrultusunda ölçülerek tespit edilmiştir. Taze haldeki kompozitlerin yayılma çaplarını ölçmek için Şekil 3.2’de verilen yayılma tablası kullanılmıştır.



Şekil 3.2 Yayılma tablasının görünümü

3.3.2 Fiziksel Özellikler

Çimento esaslı kompozitlerin fiziksel özelliklerini belirlemek amacıyla ASTM C 642 standartına uygun olarak 50*50*50 mm boyutlu küp numuneler ile arşimet deneyi yapılmıştır. Taze haldeki kompozit belirtilen boyutlardaki küp kalıplara 2 tabaka halinde ve vibratör masası ile yerleştirilerek kalıplanan numuneler 24 saat sonrasında kalıptan çıkarılmıştır. Kalıptan çıkarılan numuneler 28 boyunca su kürüne tabi tutulmuştur. Belirlenen kütleme süresi sonunda arşimet terazisi yardımı ile su içindeki ağırlığı ölçülmüştür. Daha sonrasında sudan çıkarılan numuneler bez ile kurularak DKY elde edilmiş ve terazi ile ağırlığı ölçülmüştür. Su içindeki ağırlığı ve DKY ağırlığı belirlenen numuneler 3 gün boyunca 50 °C ($\pm 5^{\circ}\text{C}$) fanlı etüvde bekletilerek etüv kurusu haline gelmesi sağlanmıştır. 3. günün sonunda etüv kurusu halindeki numunelerin ağırlığı ölçülmüştür.

3.3.3 Mekanik Özellikler

Çimento esaslı kompozitlerin 40*40*160 mm kalıplara iki tabaka halinde ve vibratör masası yardımıyla kalıplanan numuneler 24 saat sonrasında kalıptan çıkarılarak numuneler belirlenen günlerde su kürüne tabi tutulmuş sonrasında günü geldiğinde oda sıcaklığında bekletilerek kuruması beklenmiş sonunda ise EN 196-1 standartına uygun olarak eğilme basınç testlerine tabi tutulmuştur. İlk olarak atölyede bulunan makine yardımı ile 3 noktalı eğilme dayanımı deneyi gerçekleştirilmiştir. Eğilme testi yapılan numuneler yine aynı makine yardımı ile basınç testine tabi tutulmuştur. Kompozitlerin 7. ve 28.gün eğilme basınç testleri gerçekleştirilmiştir.

3.3.4 Kapilerite Özellikleri

Çimento esaslı kompozitlerin su işleme derinliklerinin bulunabilmesi için ASTM C 1585 standartına göre 50*50*50 mm boyutlu küp numuneleri kullanılarak kapilerite deneyi yapılmıştır. 28 gün boyunca su küründe bekletilen numuneler su küründen çıkarılıp 3 gün boyunca 50 °C ($\pm 5^\circ\text{C}$) fanlı etüvde bekletilmiştir. Kapilerite deneyi ile su işleme derinliklerinin bulunabilmesi için numunenin sadece tabanının su ile temas etmesi beklenir bu yüzden yan yüzeylerin su ile temasını kesmek amacıyla su yalıtım malzemesi olan su-tut malzemesi fırça yardımıyla kaplanmıştır. Deneye hazır hale getirilen numuneler belirlenen kap içerisinde yüksekliği 5 mm olan parçalar yerleştirilmiştir. Bu işlem vasıtasıyla numunenin tüm tabanının su ile temas etmesini sağlanmıştır. Standartta belirtilen sürelerle göre su işleme derinlikleri 28 gün boyunca ölçülmüştür.

3.3.5 Kuruma Büzülmesi

Çimento esaslı kompozitlerin boy değişimleri ASTM C 596 standartına göre 25*25*285 mm boyutlu kuruma büzülmesi çubukları dijital komparatör ile ölçülmüştür. Kalıptan çıkarılan bu çubuklar 7 gün su kürüne tabi tutulmuş sonrasında bez yardımıyla DKY elde edilerek ilk boyu ölçülmüştür. Bu işlemler sonrasında çubuklar oda sıcaklığında açık havada bekletilmiştir. İkinci ölçümü 3.günde yapıldıktan sonra 28 gün boyunca her 7 günde bir ölçülmüştür. 28. gününden sonra 56.-90. ve 120. gününde boy ölçüm işlemi yapılmıştır.

3.3.6 MgSO₄ Dayanıklılığı

Çimento esaslı kompozitlerin MgSO₄ içeren kür içerisindeki boy değişimini ölçmek amacıyla ASTM C1012 standartlarına uygun olarak 25*25*285 mm çubuklar üretilmiştir. Kalıptan çıkarılan bu çubuklar 7 gün su kürüne tabi tutulmuştur. Kür havuzuna %5 MgSO₄ solüsyon içeren çözelti hazırlanmıştır. Çubuklar bu çözeltinin içerisinde konularak yeni kürleme işlemi başlatılmıştır. Kür içerisinde 1 gün bekleyen numuneler bez ile DKY elde edilip ilk boyu dijital komparatör ile ölçülmüştür. Sonrasında 28 gün boyunca her 7 günde bir boyları ölçülmüştür. 28.günün ardından 56.-90. ve 120. gününde boyu ölçülmüştür.

3.3.7 Yüksek Sıcaklık Dayanıklılığı

Kalıptan çıkarılan 40*40*160 mm boyutlu numuneler TS EN 1363-1'e uygun olarak 28 boyunca su kürüne tabi tutulmuştur. Bu işlem sonrasında numuneler 24 saat oda sıcaklığında kurumaya bırakılmıştır. Kuruyan numunelerin tamamen su içeriğinden arındırılması amacıyla 105 °C ($\pm 5^{\circ}\text{C}$) fanlı etüvde 24 saat bekletilmiştir. Bünyesinde su içeriği kalmayan numuneler yüksek sıcaklık fırınına konulmadan önce ilk ağırlıkları ve TS EN 12504-4 standartına göre ultrases geçiş hızları kaydedilmiştir. 300, 600 ve 900°C yüksek sıcaklık uygulanması amacıyla içine numuneler yerleştirilen fırın dakikada 10 °C ısınma ısısına ayarlanmıştır. İstenilen sıcaklığa ulaşan numuneler 120 dakika fırında sabit sıcaklıkta bekletilmiştir. İşlemi tamamlanan numuneler fırından çıkarılarak 2 farklı tipte soğutma işlemine tabi tutulmuştur. Soğutma işleminin ilki hava soğutma tipidir. Bu işlem tipinde fırından çıkarılan numuneler oda sıcaklığında 24 saat bekletilerek soğutulmuş ve ardından son ağırlık ve ultrases geçiş hızı ölçülmüştür. İkinci soğutma tipi su soğutma tipidir. Bu işlem tipinde fırından çıkarılan numune itfaiyeleme metodu kullanılarak su ile teması sonucu soğutulmuştur. Su ile teması sonucu soğuyan numune 24 saat oda sıcaklığında bekletilip son ağırlığı ve ultrases geçiş hızı kaydedilmiştir. İlk ve son verileri kaydedilen numuneler son olarak eğilme basınç testine tabi tutulmuştur. Yüksek sıcaklık sonrasında numunelerin Kastamonu Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde FEİ marka Quanta FEG 250 model taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile mikroyapı incelemeleri yapılmıştır.

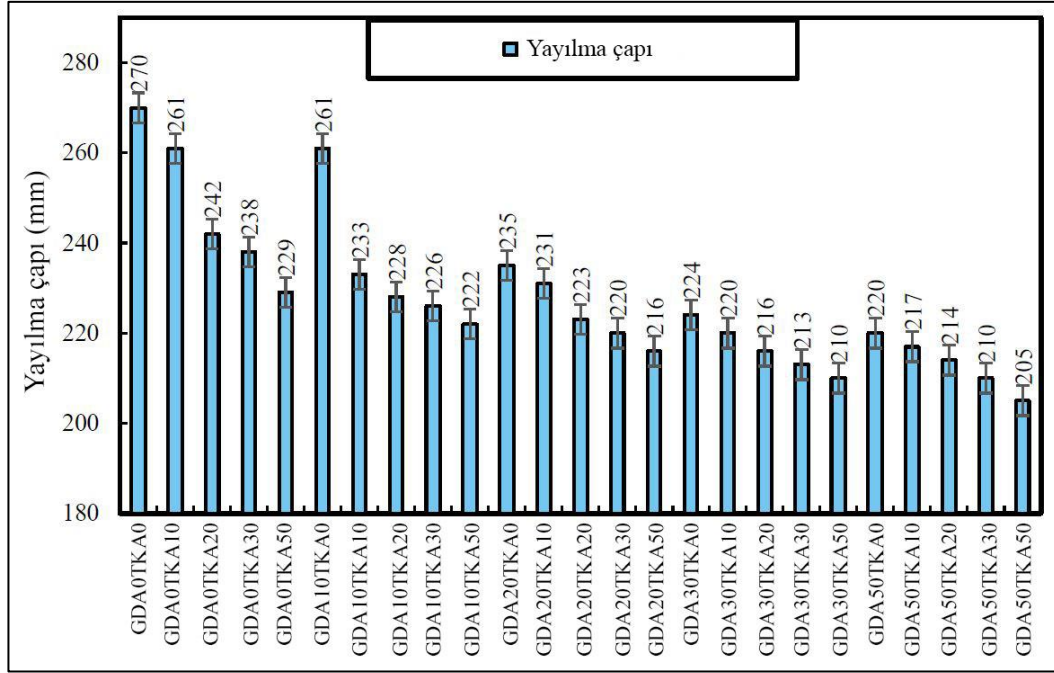
3.3.8 Isıl İletkenlik

Köpük betonların ısı iletkenlik katsayıları 20*30*50 mm numuneler ile Tci Thermal Conductivity Analyzer cihazı kullanılarak yapılmıştır. Cihaz değiştirilmiş geçici düzlem kaynağı (Modified Transient Plane Source) metoduna göre ölçüm yapmaktadır.

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR

4.1 Taze Hal Özelliklerinin Değerlendirilmesi

Şekil 4.1, taze karıştırılmış malzemeler üzerinde gerçekleştirilen akış tablosu testinin sonuçlarını göstermektedir. Şekle göre en yüksek ve en düşük akışkanlık değerleri sırasıyla 270 mm ile GDA0TKA0 ve 205 mm ile GDA50TKA50 için elde edilmiştir. Ayrıca, %0 ve %50 geri dönüştürülmüş beton agregası içeriğinde, alt kül agregasının %0'dan %50'ye artmasının akışkanlığı sırasıyla ~%15 ve %6 oranında azalttığı da görülebilir. Bu, yalnızca kalker kumu kullanıldığında karışımların en yüksek akışkanlığa sahip olduğunu gösterir. Bunun nedeni, kireçtaşı ile karşılaştırıldığında dip kül kumunun daha yüksek su emmesi ve sürtünmesi olabilir (Hu ve Wang, 2007; Kim ve Lee, 2011). Şekil 4.1'den ayrıca, %0 taban külü kum içeriğinde, geri dönüştürülmüş ince agregadaki %0'dan %50'ye artışın, akışkanlık değerlerini ~%18 azalttığı görülebilir. Ref. (Li vd., 2019), geri dönüştürülmüş ince agregası, doğal kumdan yaklaşık %80 daha fazla nem emme eğilimindedir. Bu, kireçtaşı ile karşılaştırıldığında geri dönüştürülmüş ince agregası ile karışımın daha düşük akışkanlığını potansiyel olarak açıklayabilir. Aynı şekilde, Ref. (Kim vd., 2012), taban külü kumunun kullanılması durumunda, betonun emme hızının doğal kuma göre nispeten daha küçük olduğunu, ancak alt kül parçacıklarının açısallığının ve yüzey sürtünmesinin akışkanlık sonuçlarını değiştirebileceğini bildirmiştir (Kim vd., 2012).



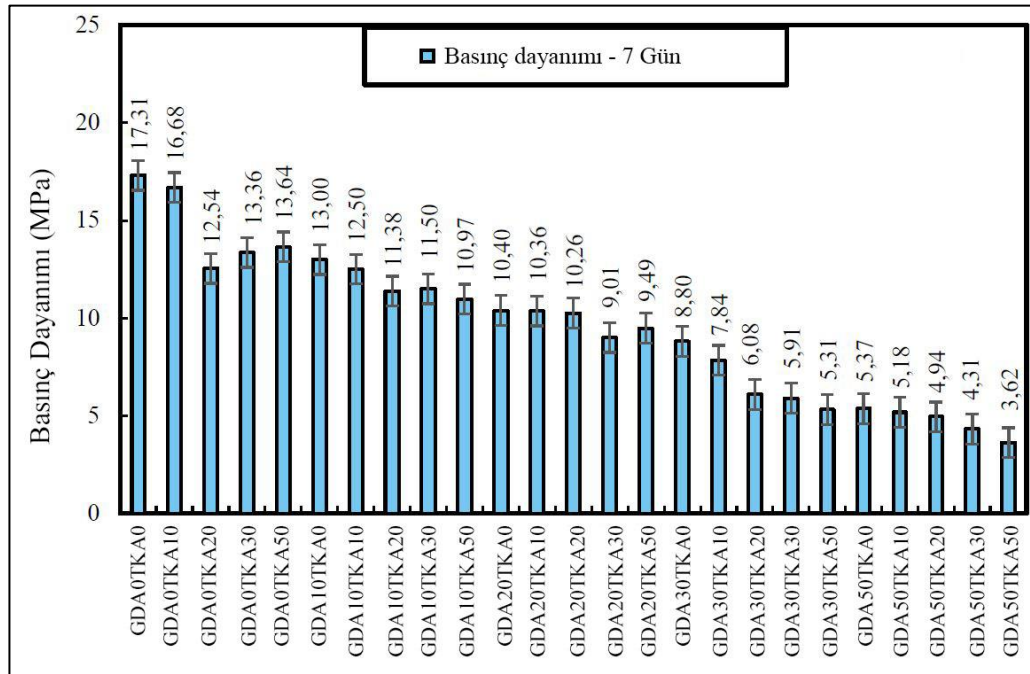
Şekil 4.1 Köpük beton karışımlarının işlenebilirliği

4.2 Mekanik Özelliklerin Değerlendirilmesi

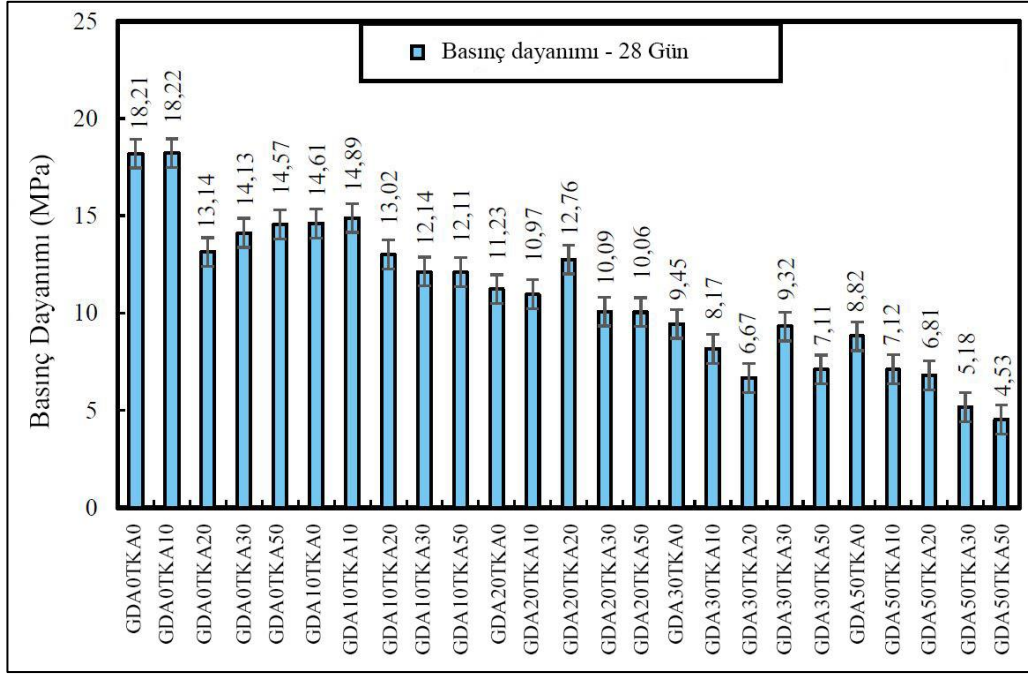
4.2.1 Basınç Dayanımı

Şekil 4.2, 7 ve 28 günlük kürlenmeden sonra basınç dayanımı testlerinin sonuçlarını göstermektedir. Şekilden hareketle, kürlenmenin 7. ve 28. gününde en yüksek basınç dayanımı GDA0TKA0 için 17,3 ve 18,2 MPa, en düşük basınç dayanımı ise GDA50TKA50 için 7. ve 28. günde kürlenmenin 3,62 ve 4,53 MPa'dır. Şekil 4.2(a)'ya göre, %0 geri dönüştürülmüş ince agregada, taban külü agregasından %0'dan %50'ye artması, 7 günlük basınç dayanımı değerlerini yaklaşık %21 oranında azaltmıştır. Şekil 4.2(b)'de kürlenmenin 28. gününde benzer sonuçlar (yaklaşık %20 azalma) kaydedilmiştir. Daha yüksek taban külü kumu içeriğine sahip karışımların daha düşük basınç dayanımı, Ref. (Kim ve Lee, 2011). Basınç dayanımındaki benzer azalma, Refs tarafından kaydedildi. Kim ve Li (2011), Yüksel vd. (2007) (%50'ye kadar değiştirme seviyesi ile) ve Ref. (Kurama ve Kaya, 2008) (%25'e kadar ikame seviyesi ile) doğal agrega alt kül kumu ile değiştirildiğinde.

Şekil 4.2(a)'dan ayrıca, geri dönüştürülmüş ince agreganın %50 değiştirme oranında, taban külü agregasından %0'dan %50'ye bir artışın, 7. ve 28. sırasıyla kürlenme günleri. Bu, birlikte kullanıldığında geri dönüştürülmüş ince agrega ve alt kül kumunun düşük uyumluluğunu gösterir. Bu gözlemin olası bir nedeni, kireçtaşı ile karşılaştırıldığında iki tip agreganın genel olarak daha yüksek hava boşluğu içeriği ve su emmesi olabilir. Bu bağlamda, Şekil 4.2 (a) ve (b)'den ayrıca geri dönüştürülmüş ince agregadaki %50'lik bir artışın, kürlenmenin 7. ve 28. günlerinde basınç dayanımı değerlerinde sırasıyla yaklaşık 69 ve %51'lik bir azalmaya neden olduğu görülebilir. Bu oldukça önemli mukavemet kaybı, Refs tarafından belgelendiği gibi, geri dönüştürülmüş ince agreganın alt yüzey yapışması ile açıklanabilir (Gencel, vd., 2021a; Jones vd., 2012). Şekilden de görülebileceği gibi, bu çalışmada kullanılan agregaların genel etkisi karşılaştırıldığında, atık agregalarla yapılan karışımların, kireçtaşıyla yapılan karışımların basınç dayanımı sonuçları, %50'ye kadar taban külü içerenlerdir.



a)



b)

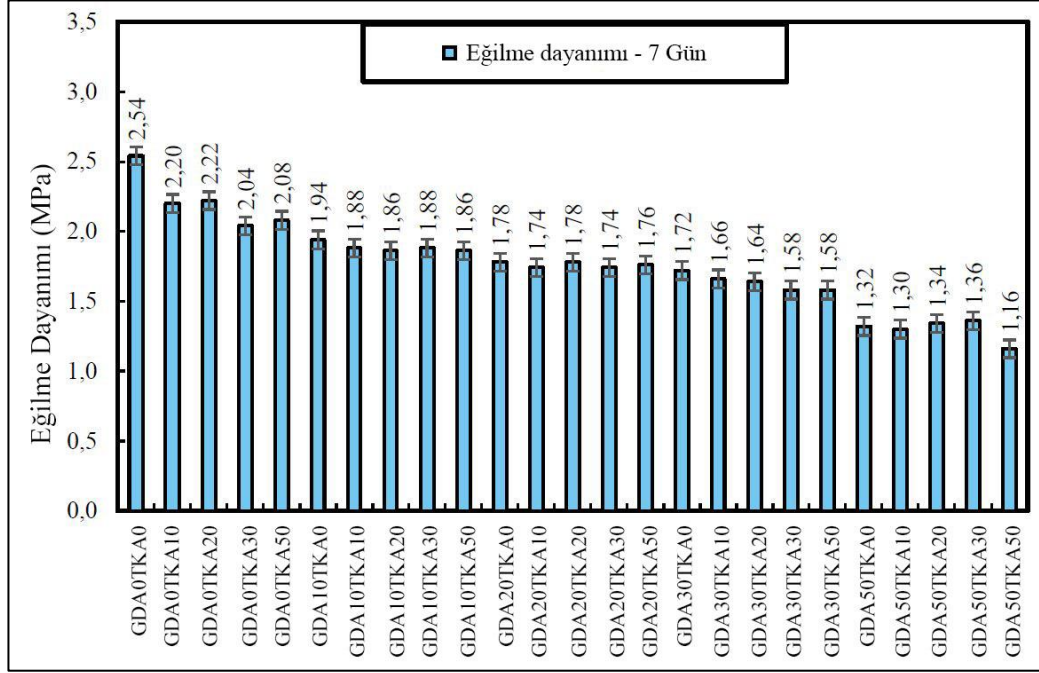
Şekil 4.2 a) 7 günlük ve b) 28 günlük kürlenme sonrası karışımların basınç dayanımı

4.2.2 Eğilme Mukavemeti

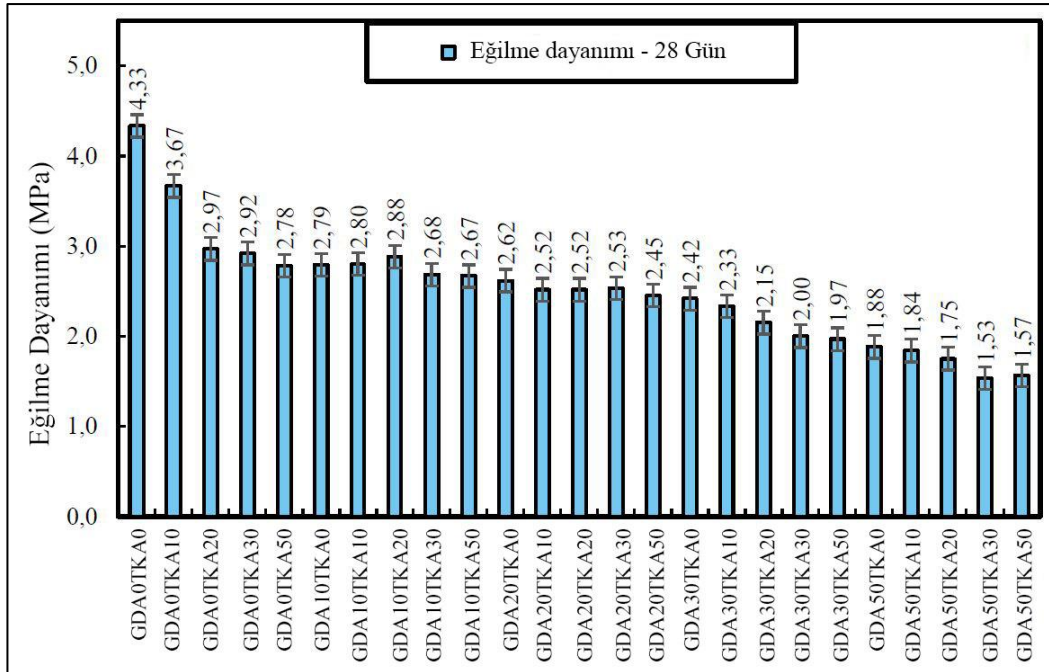
Şekil 4.3 (a) ve (b)'de kürlenmenin sırasıyla 7. ve 28. günlerinde yapılan eğilme dayanımı testlerinin sonuçları verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi, en yüksek ve en düşük eğilme dayanımı GDA0TKA0 için 2,54 MPa (7. günde) ve 4,33 MPa (28. günde) ve GDA50TKA50 için 1,16 MPa (7. günde) ve 1,57 MPa (28. günde) olmuştur. gün), sırasıyla. Şekil 4.3'ten ayrıca, taban külü kum içeriğinde %0'dan %50'ye bir artışın eğilme mukavemeti değerlerini sırasıyla yaklaşık %18 ve %36 oranında azalttığı görülebilir. Eğilme mukavemetindeki azalma, önceki çalışmaların (Kim ve Lee, 2011; Kurama ve Kaya, 2008) sonuçlarıyla uyumludur ve bölüm 4.2.1'de belgelenen basınç mukavemeti sonuçlarıyla uyumludur.

Şekil 4.3'ten ayrıca, geri dönüştürülmüş ince agrega içeriğindeki %0'dan %50'ye artışın, kürlenmenin 7. ve 28. günlerinde eğilme mukavemeti değerlerini sırasıyla yaklaşık %48 ve %57 oranında azalttığı görülebilir. Bu nedenle, geri dönüştürülmüş ince agreganın eğilme mukavemetinin azalması üzerindeki etkisi, bölüm 4.2.1'deki basınç mukavemeti için de olduğu gibi, taban külü agregasıyla kıyasla oldukça yüksektir. Bunun nedeni, benzer şekilde, atık agrega içeren karışımların eğilme

mukavemeti değerlerinde en iyi performans, karışımlarda %50'ye kadar kalker kumu kullanıldığında elde edilir ve köpük beton için kullanılacak taban külü agregası daha yüksek uyumluluğunu gösterir (Kou ve Poon, 2009).



a)



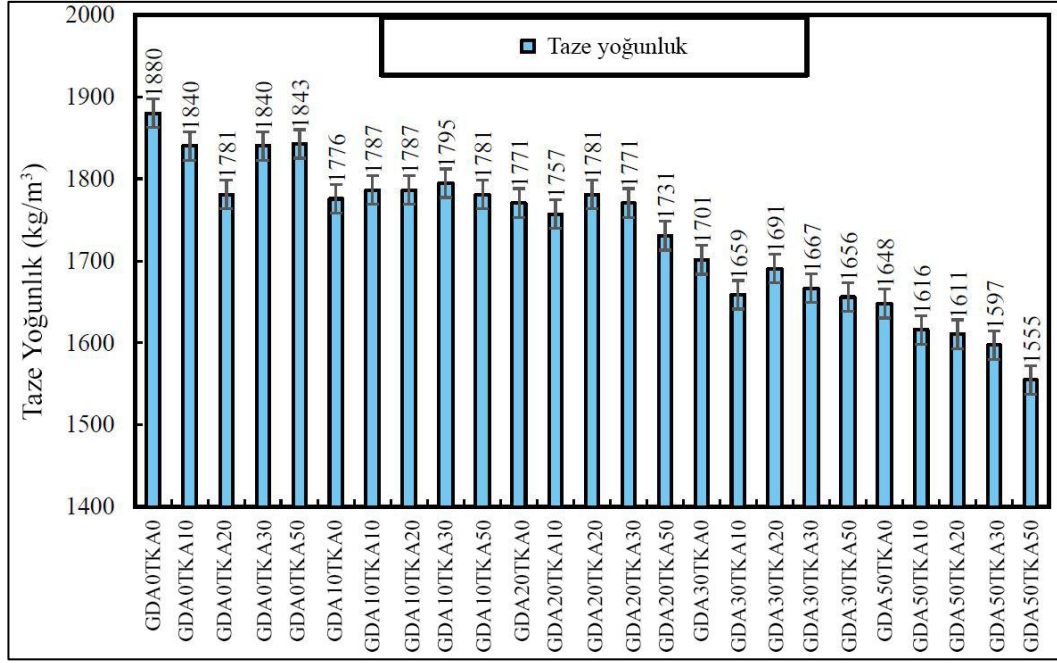
b)

Şekil 4.3 a) 7 günlük ve b) 28 günlük kürlenmeden sonra karışımların eğilme mukavemeti

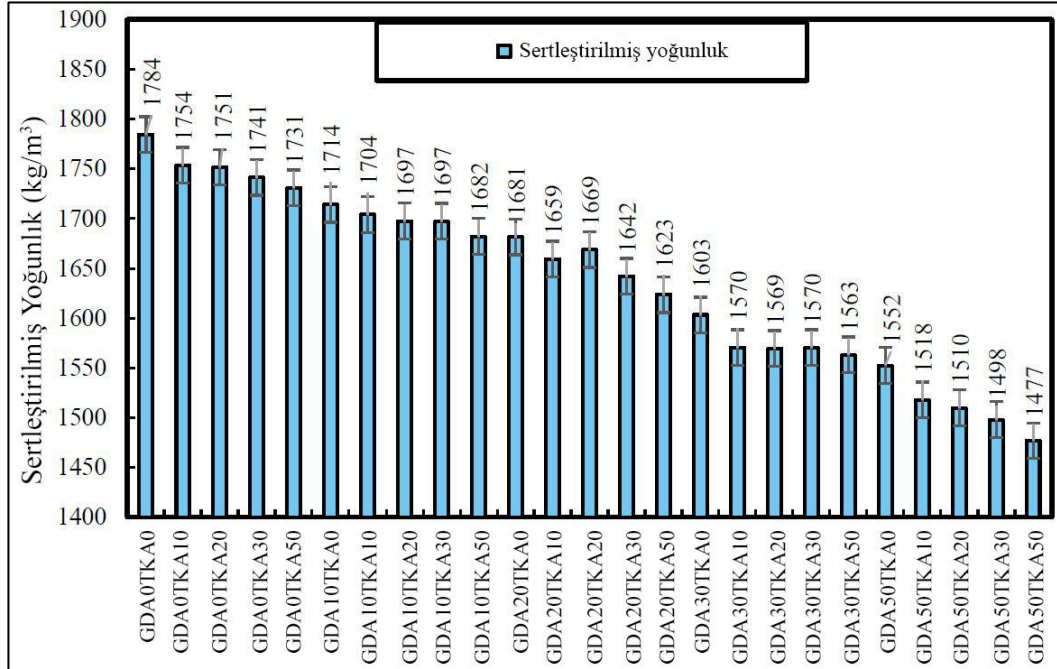
4.3 Yoğunluk

Köpük beton karışımlarının taze ve sertleşmiş yoğunluk değerleri sırasıyla Şekil 4.4 (a) ve (b)'de sunulmuştur. Bu şekillerde de görüldüğü gibi en yüksek taze ve sertleşmiş yoğunluk değerleri sırasıyla 1880 ve 1784 kg/m³ ile GDA0TKA0 için olmuştur. En düşük taze ve sertleştirilmiş yoğunluk değerleri, GDA50TKA50 karışımları için sırasıyla 1555 ve 1477 kg/m³ olmuştur. Şekilden de görülebileceği gibi, geri dönüştürülmüş ince agregaya ve taban külü agregasındaki bir artışın hem taze hem de sertleşmiş yoğunluk değerlerini azalttığı görülmüştür. Bu bağlamda, taban külü agregaya içeriğinin %0'dan %50'ye yükseltilmesi, taze ve sertleşmiş yoğunluk değerlerini sırasıyla yaklaşık %2 ve %3 oranında azaltmıştır. Bu, kireçtaşı kumlarına (2,61) kıyasla taban külü agregasının (1,64) daha düşük özgül ağırlığına bağlı olabilir (Kou ve Poon, 2009).

Şekil 4.4'ten ayrıca, geri dönüştürülmüş ince agregaya içeriğindeki %50'lik bir artışın, taze ve sertleşmiş yoğunluk değerlerini sırasıyla yaklaşık %12 ve %13 oranında azalttığı görülebilir. Bu yoğunluk azalması, bölüm 3.1.2'de bildirildiği. Ek olarak, geri dönüştürülmüş ince agregaya ve taban külü agregasının birlikte kullanımının, taze ve sertleşmiş yoğunluğu sırasıyla sadece yaklaşık %6 ve %5'e kadar azalttığı görülebilir (De Juan ve Gutiérrez, 2009; Gholampour vd., 2021; Kou ve Poon, 2009). Kombine geri dönüştürülmüş ince agregaya ve taban külü agregası ile karışımların daha yüksek yoğunluk değerleri, bireysel sonuçlarıyla karşılaştırıldığında daha yüksek paketleme yoğunluklarından kaynaklanabilir.



a)



b)

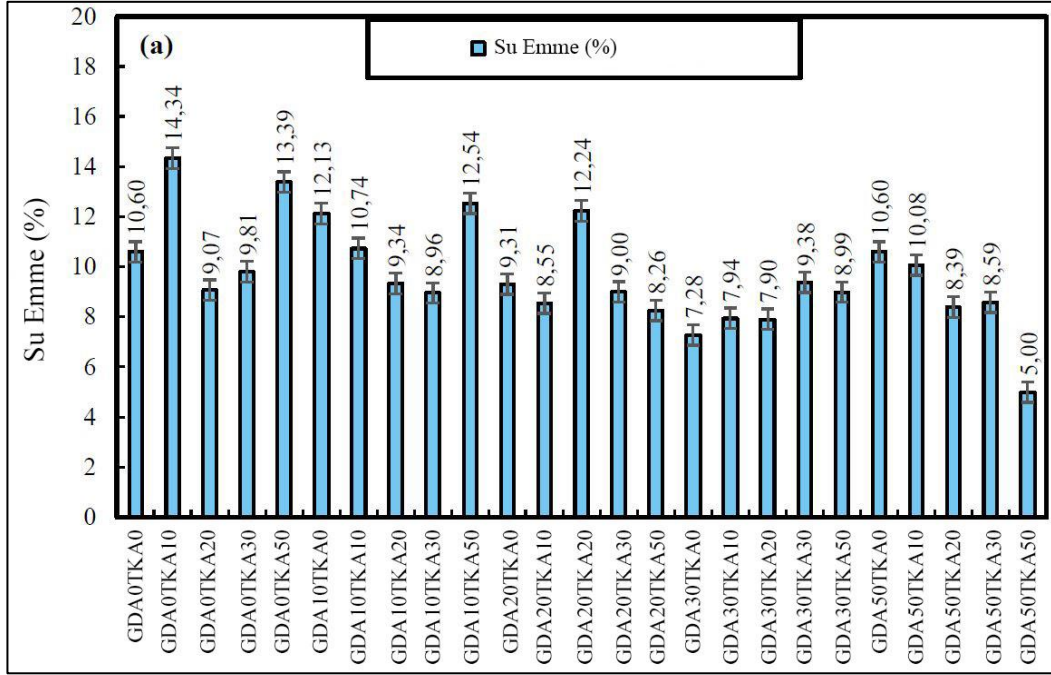
Şekil 4.4 Farklı karışımların taze (a) ve sertleştirilmiş (b) yoğunluğu

4.4 Su Emme Ve Görünür Porozite

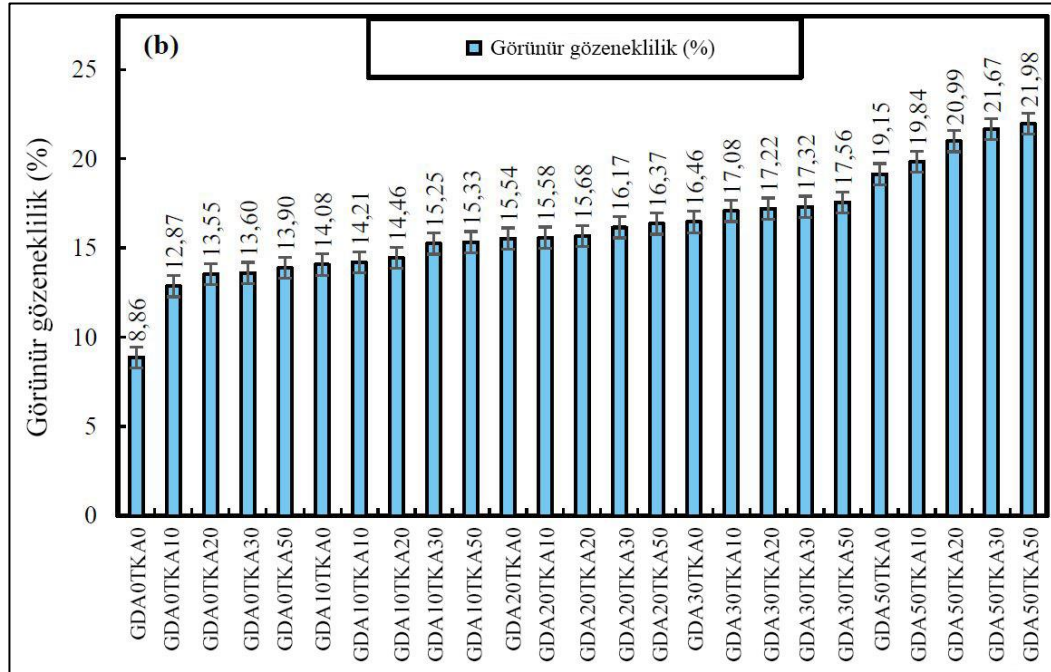
Şekil 4.5, bu çalışmada farklı karışımlar üzerinde gerçekleştirilen su emme ve görünür porozite testlerinin sonuçlarını göstermektedir. Bu rakama göre, en yüksek ve en düşük su emilimi GDA0TKA10 için sırasıyla %14,34 ve GDA50TKA50 için %5 olmuştur.

Şekil 4.5(a)'dan ayrıca, %0 ve %50 geri dönüştürülmüş ince agregalı karışımların ortalama su emmesi sırasıyla %11,44 ve %8,53 olduğu görülebilir. Bu gözlem, daha yüksek geri dönüştürülmüş agrega içeriğine sahip karışımların su emme değerlerinde yaklaşık %34'lük bir azalma olduğunu göstermektedir ve geri dönüştürülmüş ince agregaların doğal agregaya göre daha yüksek su emme oranına dikkat çeken önceki çalışmalar ile uyumludur (Li vd., 2019; Zega ve Di Maio, 2011). Ayrıca, taban külü ve kalker kumu içeren karışımların su emmesi, geri dönüştürülmüş ince agrega ve kalker kumu içeren karışımlardan nispeten daha yüksekti. Bu gözlem, potansiyel olarak, geri dönüştürülmüş ince agregaya kıyasla daha yüksek su emme oranı ve taban külü agregasının daha düşük özgül ağırlığı ile açıklanabilir (Kou ve Poon, 2009).

Şekil 4.5(b)'den ayrıca, sırasıyla %8,86 ile GDA0TKA0 ve %21,98 ile GDA50TKA50 için en düşük ve en yüksek gözeneklilik değerlerine ulaşıldığı görülebilir. Ayrıca, belirli bir taban külü agrega içeriğinde, %0'dan %50'ye geri dönüştürülmüş ince agrega ilavesinin görünür porozite değerlerinde %39'luk bir artışa neden olduğu görülebilir. Bu, daha yüksek geri dönüştürülmüş ince agrega içeriğine sahip karışımların, kireçtaşı kumu ile karşılaştırıldığında daha gözenekli mikro yapılarından dolayı daha yüksek bir gözeneklilik geliştirdiğini göstermektedir (Kirthika ve Singh, 2020). Buna karşılık, %0 geri kazanılmış ince agrega içeriğinde, taban külü agrega değerlerindeki %0'dan %50'ye artış, porozite değerlerinde yaklaşık %57 artışa neden olmuştur. Bu sonuçlara dayanarak, görünür porozite değerleri açısından taban kül agregasının geri dönüştürülmüş ince agregadan daha iyi performans gösterdiği görülebilir.



a)

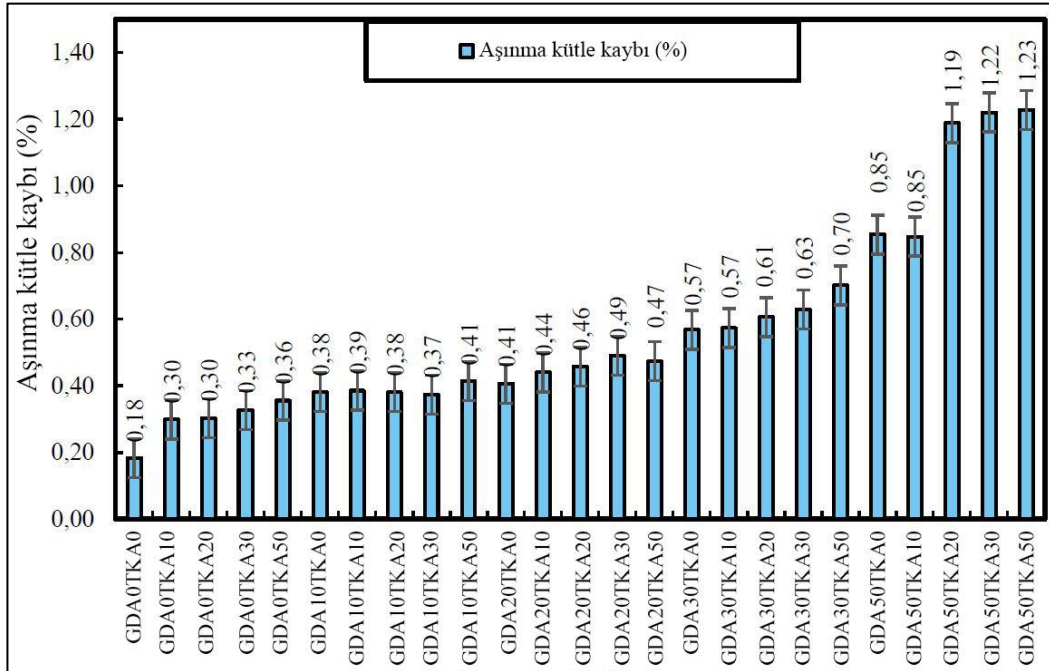


b)

Şekil 4.5 Farklı karışımların su emme (a) ve görünür gözeneklilik (b)

4.5 Aşınma Direnci

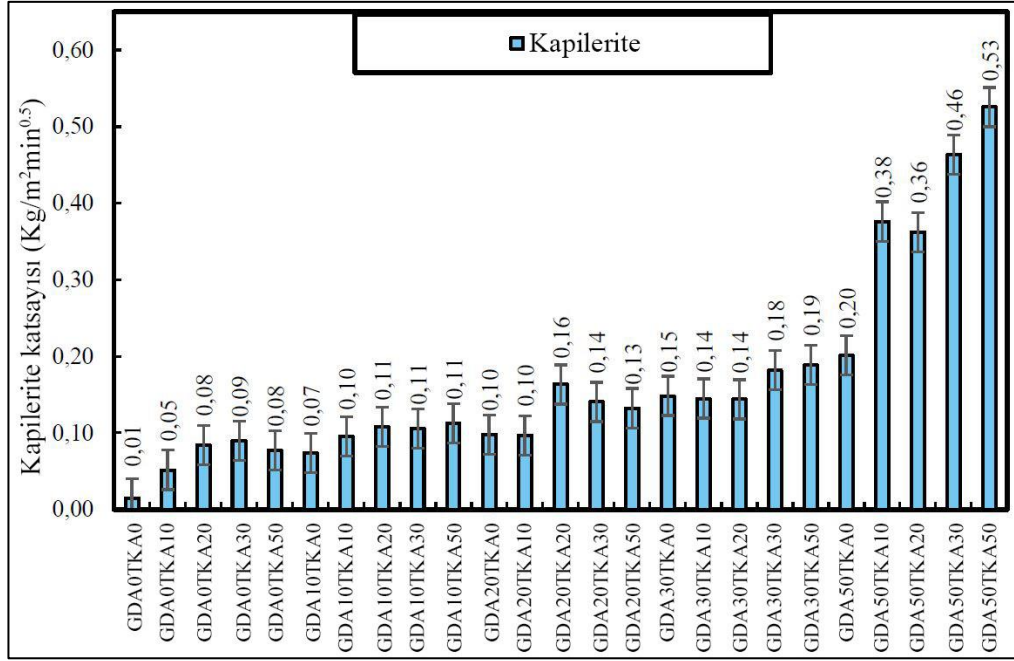
Çeşitli karışımların aşınma veya aşınma direnci sonuçları Şekil 4.6'da sunulmuştur. Bu şekle göre en yüksek ve en düşük kütle kaybı sırasıyla GDA50TKA50 için %1,23 ve GDA0TKA0 için %0,18 olarak bulunmuştur. %100 kalker kumlu karışımlar, %50 geri dönüştürülmüş ince agrega ve %50 taban külü agregası ile karşılaştırıldığında yaklaşık %583 daha yüksek aşınma direnci geliştirmiştir. Şekil 4.6'dan ayrıca, belirli bir taban kül içeriğinde, %0 ve %50 geri dönüştürülmüş ince agregalı karışımların ortalama kütle kaybı değerlerinin sırasıyla %0,29 ve %1,07 olduğu görülebilir. Bu, %50 geri dönüştürülmüş ince agregalı karışımların aşınma direncinde yaklaşık %73'lük bir azalma sağlar. Şekilden ayrıca, belirli bir geri dönüştürülmüş ince agrega içeriğinde, taban külünde %0'dan %50'ye bir artış, betonun kütle kaybında %33'lük bir artışa neden oldu ve daha yüksek taban külü içeriğine sahip karışımların daha düşük aşınma direnci gösterdiğini gösterdi. tarafından özetlenen sonuçlarla uyumludur (Singh ve Siddique, 2015, 2016).



Şekil 4.6 Farklı karışımların aşınma kütle kaybı

4.6 Kapilerite

Kapilerite, bir ortamın bir sıvıyı kılcal emme yoluyla taşıma kapasitesini değerlendirmenin bir yoludur. Ayrıca köpük betonun mikroyapısal koşulları hakkında bilgi sağlayabilir (Ganesan vd., 2008). 28 günlük kürlemeden sonra çeşitli karışımlar üzerinde gerçekleştirilen emicilik testinin sonucu Şekil 4.7'de sunulmuştur. Bu şekle göre, GDA50TKA50 ve GDA0TKA0 için en yüksek ve en düşük emicilik değerleri sırasıyla 0,53 ve 0,01 Kg/m² min^{0.5} olmuştur. Şekilden de görülebileceği gibi, belirli bir taban külü agregası miktarı için, geri dönüştürülmüş ince agregadaki %0'dan %50'ye artış, betonun emicilik oranında %508'lik bir artışa neden olmuştur. Bu kısmen, geri dönüştürülmüş ince agreganın kireçtaşı ve taban külü agregasından daha yüksek absorpsiyonundan kaynaklanabilir (Song ve Ryou, 2014; Zega ve Di Maio, 2011). Şekil 8'den ayrıca, %0 ve %50 taban külü agregası içeriğine sahip karışımların ortalama kapilerite değerinin sırasıyla yaklaşık 0,11 ve 0,2 Kg/m² min^{0.5} olduğu görülebilir. Diğer bir deyişle, bu, %50 taban külü agregası içeriğine sahip karışımların emicilik oranlarında yaklaşık %94'lük bir artış gösterir; bu, bölüm 4.4'te tartışıldığı gibi artan taban külü içeriği ile artan gözeneklilik nedeniyle olabilir. Bununla birlikte, atık kum içeren karışımların en düşük emicilik oranınının, bireysel olarak %50'ye kadar taban külü agregası ve %20'ye kadar geri dönüştürülmüş ince agrega içeren karışımlar için olduğu bulunmuştur.



Şekil 4.7 Çeşitli karışımların kapilerite katsayısı

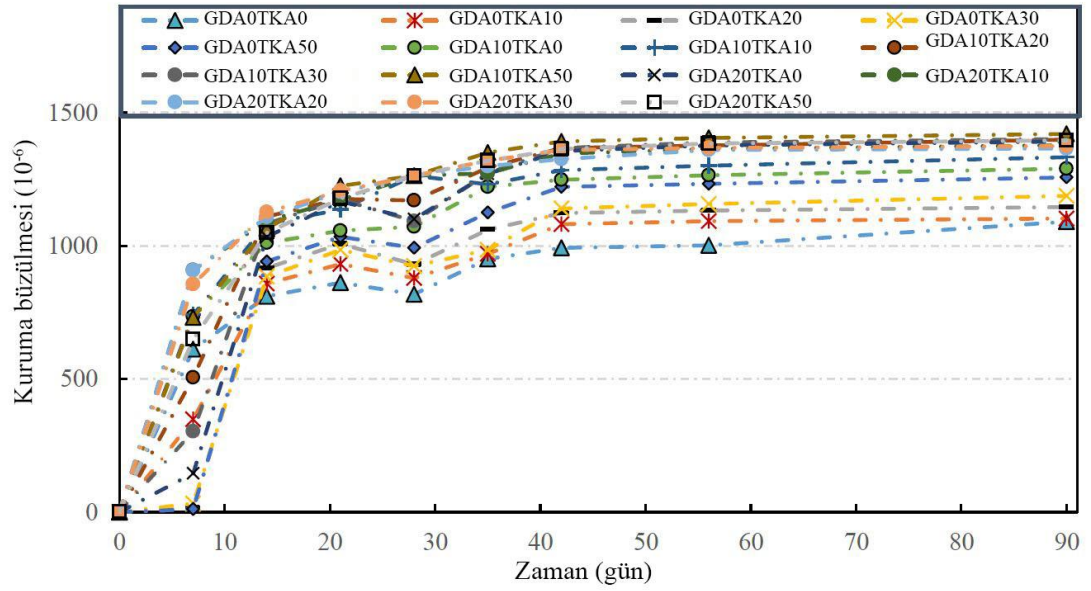
4.7 Kuruma Büzülmesi

Kuruma büzülmesi, dayanıklılık değerlerinde kayıplara yol açabilen köpük beton çatlamasının yaygın bir nedenidir. Bu bağlamda, bu olgunun arkasındaki nedenin, normal betona kıyasla katı malzeme içeriğinin büzülmeden kaynaklanan büzülme gerilimine dayanması olduğuna inanılmaktadır (Jones vd., 2003; Kunhanandan Nambiar ve Ramamurthy, 2008; Shah ve Weiss, 2006; Zhang vd., 2014).

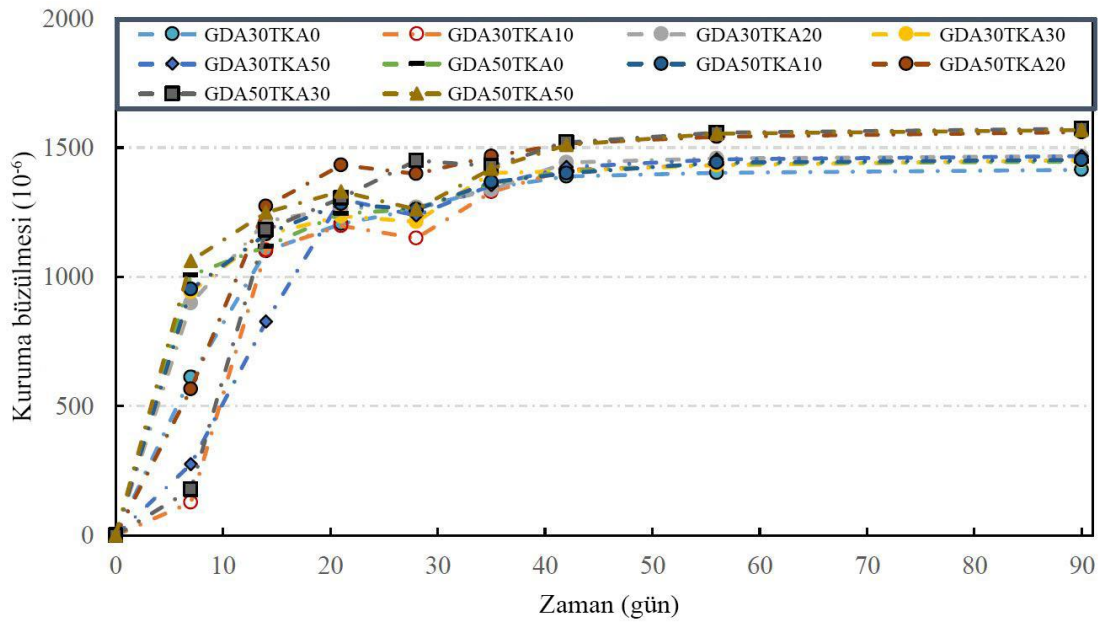
Şekil 4.8, kürlenmenin 90. gününe kadar kuruma çekme testinin sonuçlarını göstermektedir. Bu rakama göre GDA0TKA0 en düşük (1090 $\mu\epsilon$) ve GDA50TKA30 en yüksek kuruma büzülmesine (1573 $\mu\epsilon$) sahiptir. Bu rakamdan ayrıca, kürlenmenin 90. gününde, belirli bir taban külü agrega içeriği için, geri dönüştürülmüş agregalı betondaki %0'dan %50'ye artışın kuruma rötresi değerlerini yaklaşık %31 arttırdığı görülebilir. Kuruma büzülmesindeki bu artış, bu eğilimi doğal kuma göre geri dönüştürülmüş agreganın daha yüksek su absorpsiyonuyla ilişkilendiren önceki çalışmalar ile uyumludur (Fathifazl vd., 2011; Li vd., 2020).

Şekil 4.8'den, belirli bir geri dönüştürülmüş ince agrega içeriği için, taban kül agregasındaki %0'dan %50'ye artışın kuruma büzülme değerlerini yaklaşık %7 arttırdığı görülebilir. Yine de, Referans (Bai vd., 2005), karışımların su-bağlayıcı

oranının taban külü agrega parçacıkları tarafından yeterli serbest suyun emilmesine izin verdiği göz önüne alındığında, taban külü agregasının yüksek partikül gözenekliliğinin, dahili bir kütleme maddesi olarak hareket etmek için suyu emmesine ve depolamasına yol açtığını belirtti. Referans (Bai vd., 2005), betonun genel kuruma büzülmesini azaltmak için taban külü agregası ile karışımlar için 0,45 ila 0,5'lik sabit bir su-bağlayıcı oranının kullanılmasını önerdi.



a)



b)

Şekil 4.8 (a) ve (b): Çeşitli karışımların kuruma büzülmesi

4.8 Yüksek Sıcaklık Ve Soğutma Rejiminin Etkisi

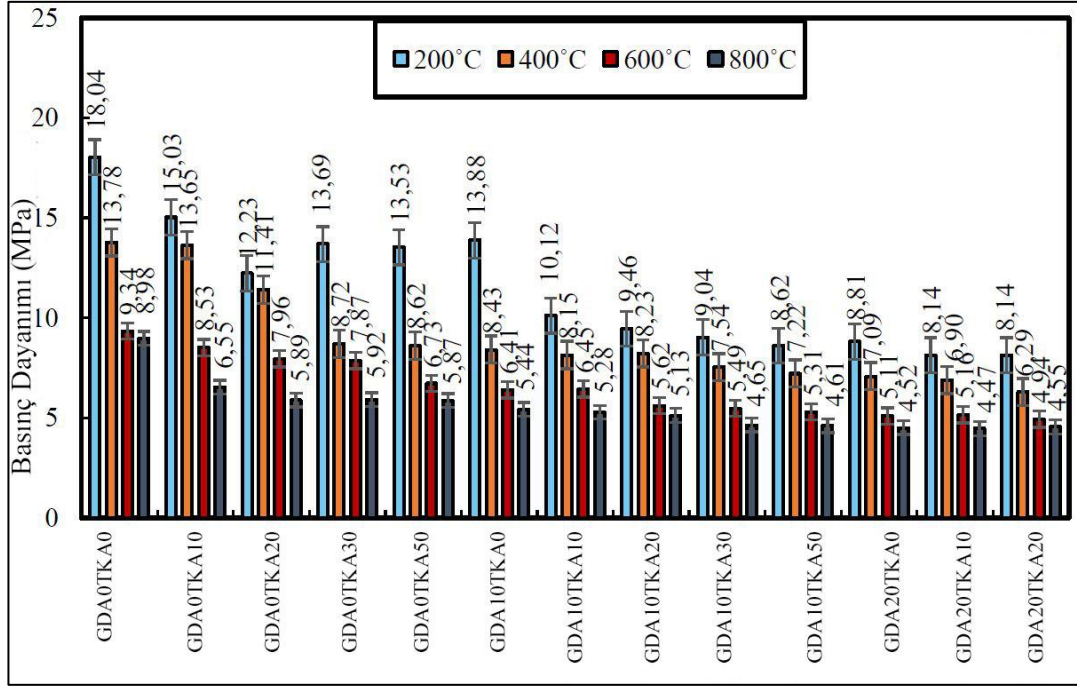
4.8.1 Hava Soğutma

4.8.1.1 Basınç ve eğilme mukavemeti

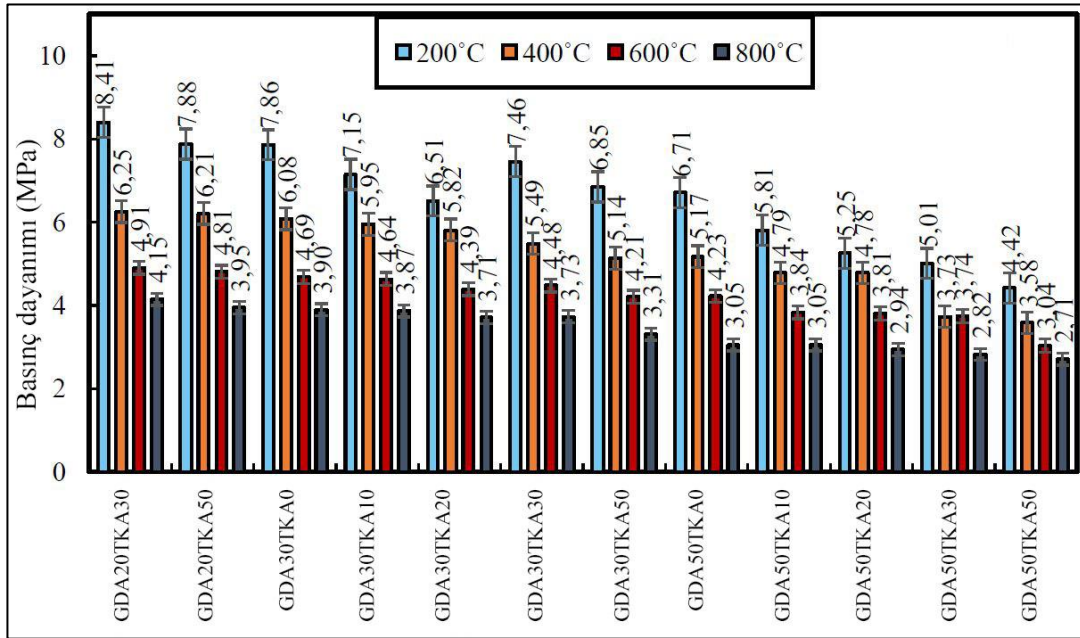
Yüksek sıcaklıklara maruz kalan karışımların 28 günlük basınç ve eğilme dayanımı sırasıyla Şekil 4.9 ve 4.10'de sunulmuştur. Şekil 4.9'a göre, yüksek sıcaklıklara maruz bırakılan köpük numunelerinin basınç dayanımı 200°C'nin altında GDA0TKA0 için 18,0 MPa ile 800°C'nin altında GDA50TKA50 için 2,7 MPa arasında değişmektedir. Bu şekilden ayrıca 200, 400, 600 ve 800°C'ye maruz kalan karışımların ortalama basınç dayanımı değerlerinin sırasıyla yaklaşık 9,1; 7,2; 5,4 ve 4,6 MPa olduğu görülebilir. Bu, 800°C'ye maruz bırakılan karışımlar için 200°C'ye maruz bırakılanlara kıyasla basınç dayanımında yaklaşık %50 azalma olduğunu gösterir. Şekil 4.9'dan ayrıca, 800°C'ye maruz kalan %0 ve %50 geri dönüştürülmüş ince agregaya içeren karışımların ortalama basınç dayanımının sırasıyla yaklaşık 6,6 ve 2,9 MPa olduğu görülebilir. Bu da %0 geri dönüştürülmüş ince agregalı karışımların, 800°C'ye maruz bırakıldıktan sonra %50 geri dönüştürülmüş ince agregaya ile yapılan refakatçilerine kıyasla yaklaşık %56 daha yüksek basınç dayanımı değerlerine sahip olduğunu göstermektedir. Aynı şekilde, belirli bir geri dönüştürülmüş ince agregaya içeriği için, %0 ve %50 taban külü agregalı karışımların 800°C'ye maruz kaldıktan sonra ortalama basınç dayanımının sırasıyla yaklaşık 5,2 ve 4,1 MPa olduğu görülebilir. Bu, %50 içerikte taban külü agregası kullanıldığında mukavemette %21'lik bir azalma olduğunu gösterir. Bu analize dayanarak, %50 taban külü agregalı karışımların, yüksek sıcaklıklarda geri dönüştürülmüş ince agregadan daha iyi performans gösterdiği görülebilir; bu, kömürünkenden daha yüksek bir sıcaklık direncine sahip olabilen yanmış kömür taban külünün doğasından kaynaklanabilir (Yüksel vd., 2007).

Şekil 4.10'a göre, yükseltilmiş sıcaklıklara maruz bırakılan karışımların eğilme mukavemeti değerleri aralığı, 200°C'ye maruz bırakılan GDA0TKA0 karışımı için 2,94 MPa, 800°C'ye maruz bırakılan GDA50TKA50 karışımı için 0,78 MPa'dır. Şekil 4.10'dan ayrıca 200, 400, 600 ve 800°C'ye maruz kalan karışımların ortalama eğilme mukavemeti değerlerinin sırasıyla yaklaşık 2; 1,6; 1,3 ve 1,2 MPa olduğu görülebilir.

Bu, 200°C'den 800°C'ye kadar numunelerde ortalama olarak %40'lık bir eğilme mukavemeti kaybı yaşandığını göstermektedir. Bu şekilde ayrıca, belirli bir taban külü içeriği için, geri dönüştürülmüş ince agregadaki %0'dan %50'ye artış, 800°C'ye maruz kalan numunelerin ortalama eğilme mukavemeti değerlerini yaklaşık 0,3'ten 0,1 MPa'ya düşürmüştür. Bu, %50 geri dönüştürülmüş ince agregada kullanıldığında eğilme mukavemetinde yaklaşık %65'lik bir azalma olduğunu gösterir. Aynı şekilde ve Şekil 4.10'dan daha ileri olarak, belirli bir geri dönüştürülmüş ince agregada içeriği için, taban kül kumundaki %0'dan %50'ye ve 800°C'ye maruz kalan artışın, ortalama eğilme mukavemetini yaklaşık 0,3'ten düşürdüğü görülebilir. 0,2 MPa'ya kadar. Diğer bir deyişle, köpük beton numunelerinde %50 taban külü kumu kullanıldığında bu, yaklaşık %25'lik bir azalma anlamına gelir. Bu sonuç, basınç dayanımı için Şekil 10'daki daha önceki bulgularla tutarlıdır ve yüksek sıcaklıklarda taban külü agregasının kalker kumu ile karşılaştırılabilir performansına işaret eder.

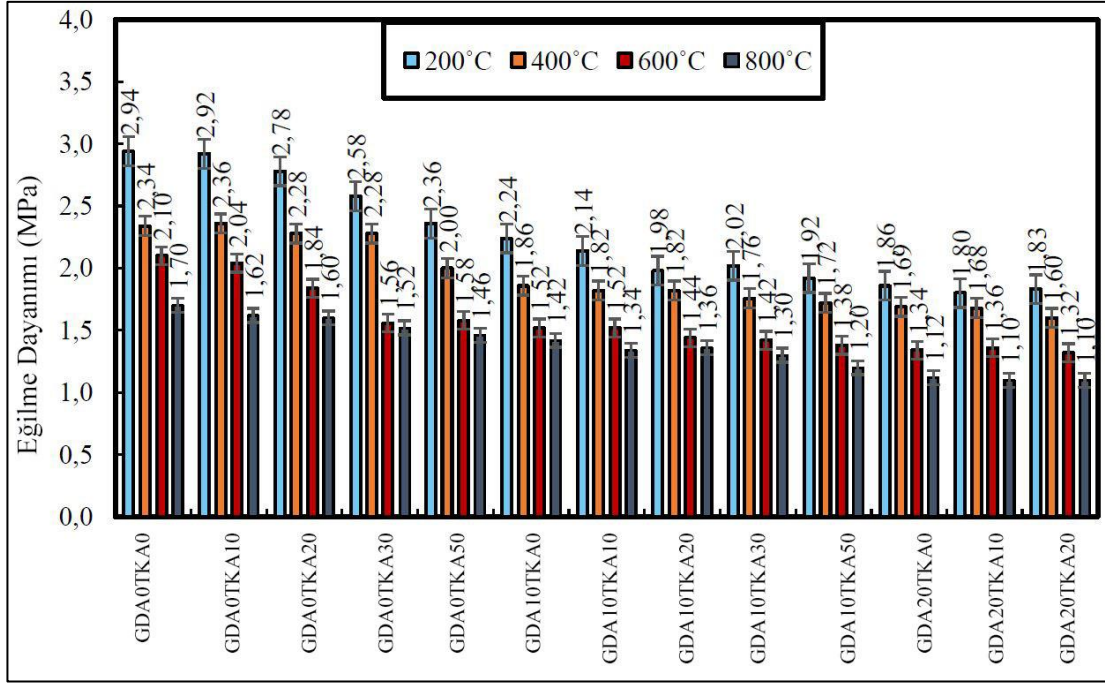


a)

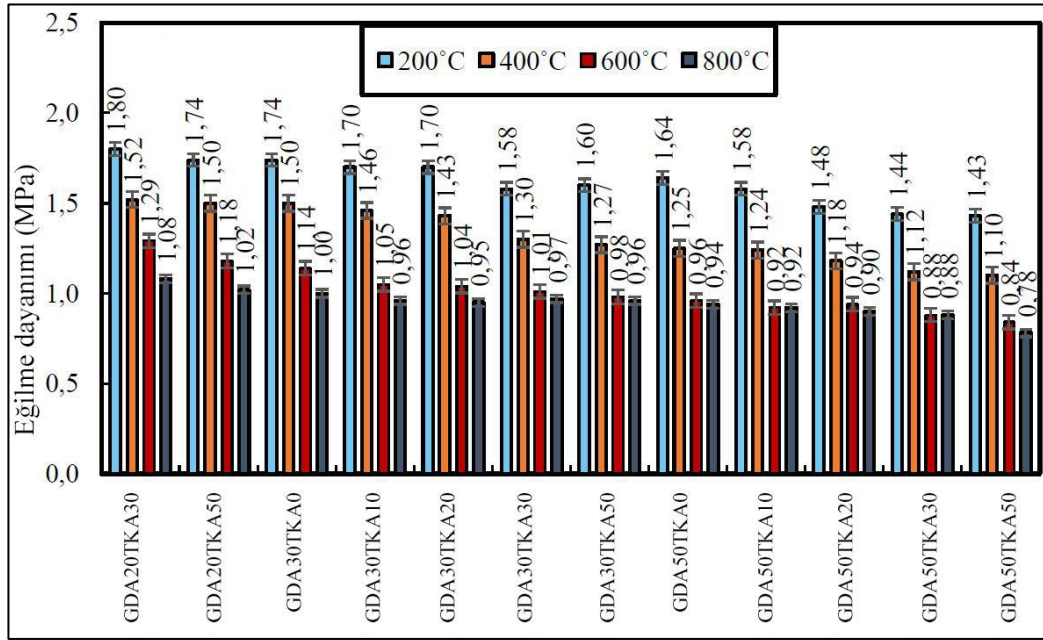


b)

Şekil 4.9 (a) ve (b): Yüksek sıcaklıklara maruz bırakılan ve hava soğutmalı karışımların basınç dayanımı



a)



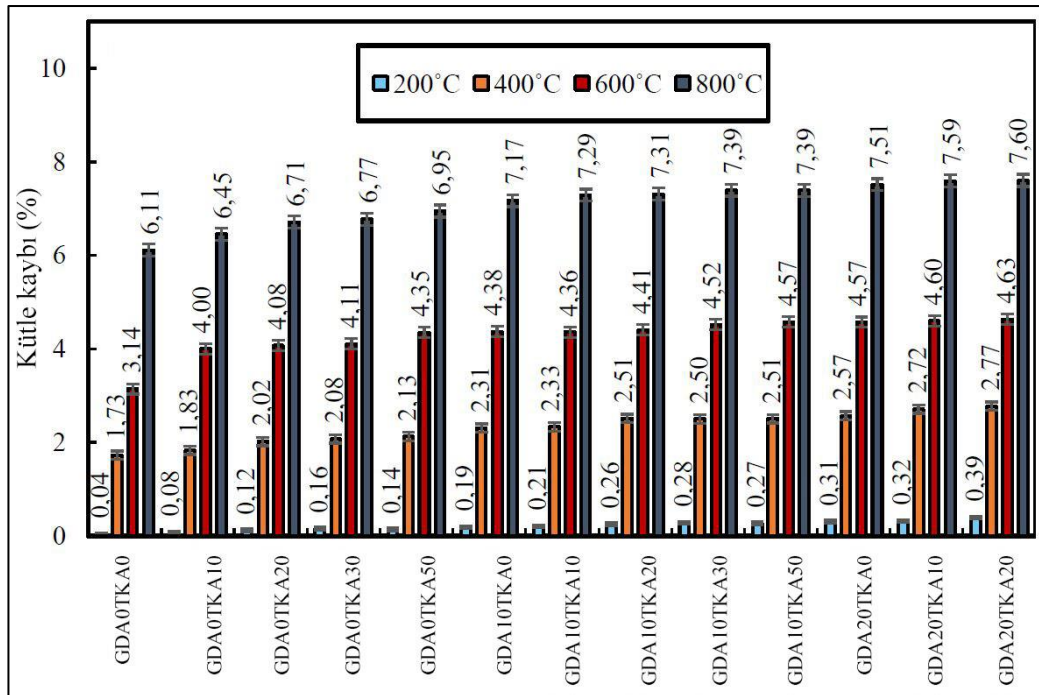
b)

Şekil 4.10 (a) ve (b): Yüksek sıcaklıklara maruz kalan ve hava soğutmalı karışımların eğilme dayanımı

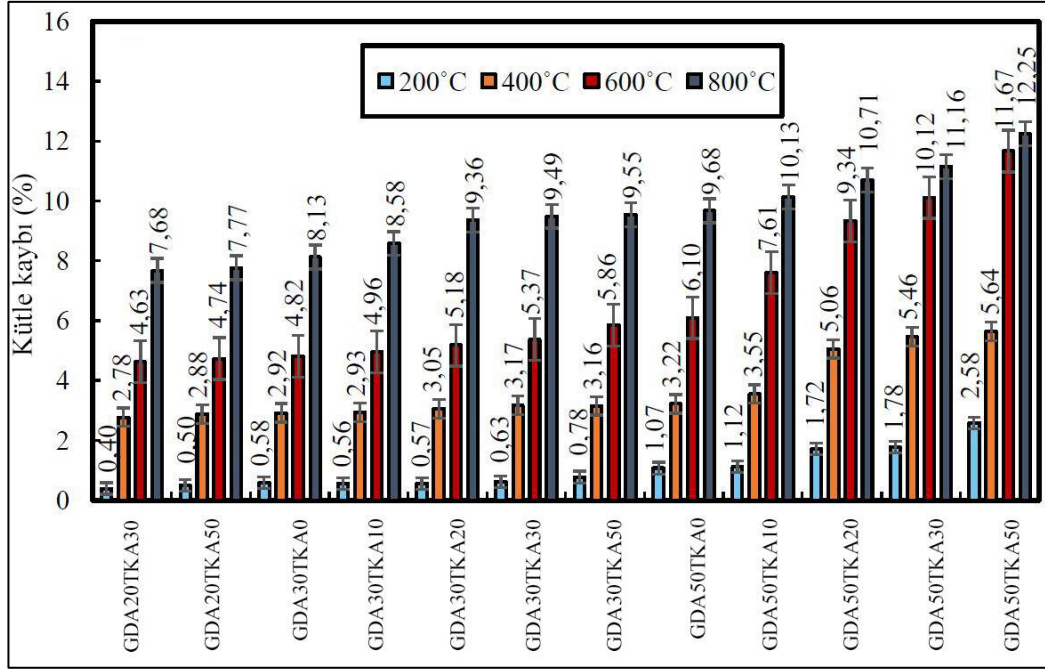
4.8.1.2 Kütle kaybı

Kütle kaybı, bozulma faktörlerine maruz kalan beton numunelerdeki fiziksel değişiklikleri gösterir. Şekil 4.11, yüksek sıcaklıklara maruz kalan numunelerin maruz

kaldığı kütle kaybının sonucunu göstermektedir. Bu şekle dayanarak, yüksek sıcaklıklara maruz kalan tüm numuneler bir dereceye kadar kütle kaybı yaşadı. Bu bağlamda kütle kaybı değerleri 200°C'de GDA0TKA0 için %0,04 ile 800°C'de GDA50TKA50 için %12,25 arasında değişmektedir. Bu rakamdan ayrıca 200, 400, 600 ve 800°C'de ortalama kütle kaybının sırasıyla yaklaşık 0,6; 3; 5,4 ve 8,3 olduğu görülebilir. Bu, 200°C'ye maruz kalan numunelerin maruz kaldığı kütle kaybının, özellikle 800°C ile karşılaştırıldığında, oldukça marjinal veya önemsiz olduğunu göstermektedir. Şekil 4.11'den görülebileceği gibi, belirli bir taban külü agrega içeriği için, geri dönüştürülmüş ince agrega miktarındaki %0'dan %50'ye artış, 800°C'ye maruz kalan karışımların kütle kayıp değerlerini %0,3'ten %0,6'ya yükseltmektedir. Bu, %50 geri dönüştürülmüş ince agrega kullanıldığında kütle kaybında %100 artış olduğunu gösterir. Benzer şekilde, belirli bir geri dönüştürülmüş ince agrega miktarı için, taban külü içeriğindeki %0'dan %50'ye artış, kütle kaybını %25'lik bir artışla yaklaşık %0,4'ten %0,5'e yükseltmiştir. Bu sonuç, daha önceki bölümlerde tartışılan, taban külü agregasının yüksek sıcaklıklarda geri dönüştürülmüş ince agregadan daha iyi performans gösterdiğine benzer.



a)



b)

Şekil 4.11 (a) ve (b): Yüksek sıcaklıklara maruz bırakılan ve havayla soğutulan karışımların kütle kaybı.

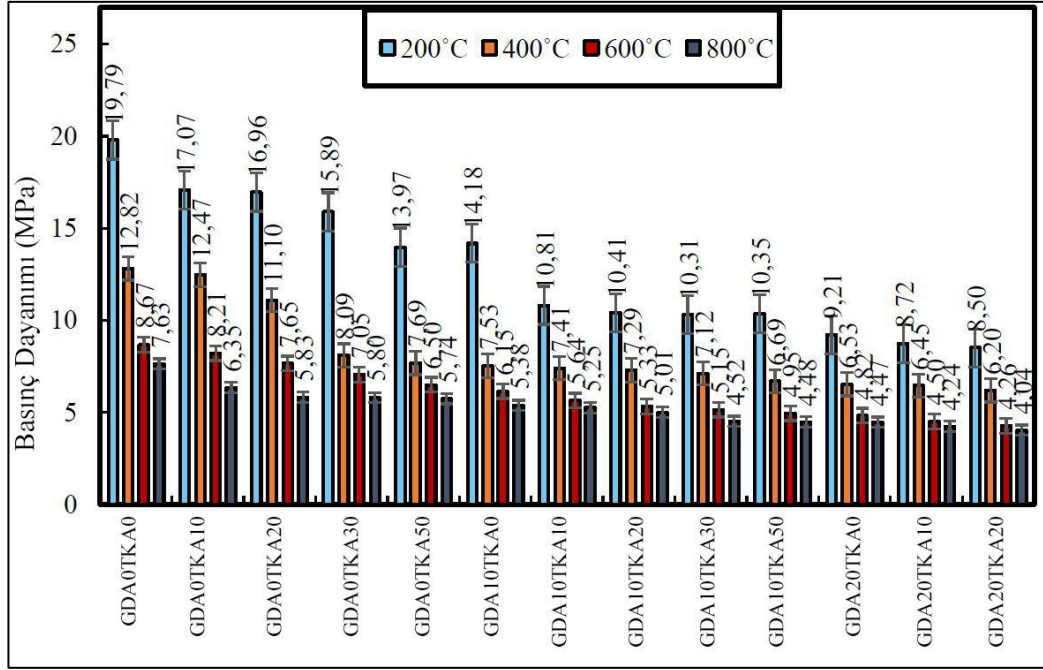
4.8.2 Su Soğutma

4.8.2.1 Basınç ve eğilme dayanımı

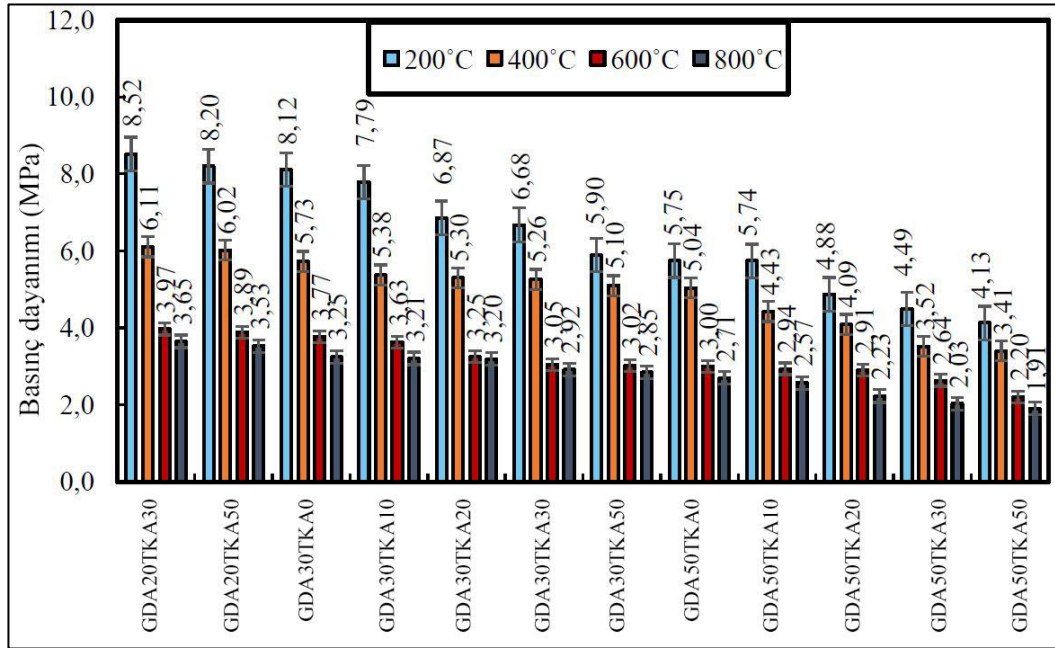
Şekil 4.12 ve 4.13, 28 günlük kürlenmenin ardından yüksek sıcaklıklara (200, 400, 600 ve 800°C) maruz bırakılan ve suda hızla soğutulan karışımların basınç ve eğilme mukavemetinin sonucunu göstermektedir. Şekil 4.12'ye göre, basınç dayanımı değerleri GDA0TKA0 için 19,79 MPa ve GDA50TKA50 için 1,91 MPa arasında değişmektedir. Bu şekilden ayrıca 200, 400, 600 ve 800°C'ye maruz kalan karışımların ortalama basınç dayanımı değerlerinin sırasıyla yaklaşık 9,7; 6,7; 4,7 ve 4,1 MPa olduğu görülebilir. Bu, 200°C'den 800°C'ye maruz kalan numunelerde ortalama basınç dayanımı değerlerinde yaklaşık %58'lik bir azalma olduğunu gösterir. Hava soğutmalı numunelerle karşılaştırıldığında, %8 daha yüksek ortalama azalma kaydedilmiştir. Buna rağmen hem hava soğutmalı hem de hızlı su soğutmalı karışımlarda, Şekil 4.9 ve 4.12'te gösterildiği gibi, sadece taban külü agregası içeren karışımların nispeten iyi performans gösterdiği bulunmuştur. Şekil 4.12'de gösterildiği gibi, %50 geri dönüştürülmüş ince agrega içeren karışımların yanı sıra %50 taban külü agregası içeren karışımların ortalama basınç dayanımı yaklaşık 4,1 ve 8,5 MPa ortalama basınç

dayanımına sahiptir. Taban külü agregasının daha iyi performansı, yüksek sıcaklıklarda daha iyi performansa 4.2.1 ve daha sonra 4.8.1.1'de açıklanan daha iyi ilk basınç dayanımına bağlı olabilir.

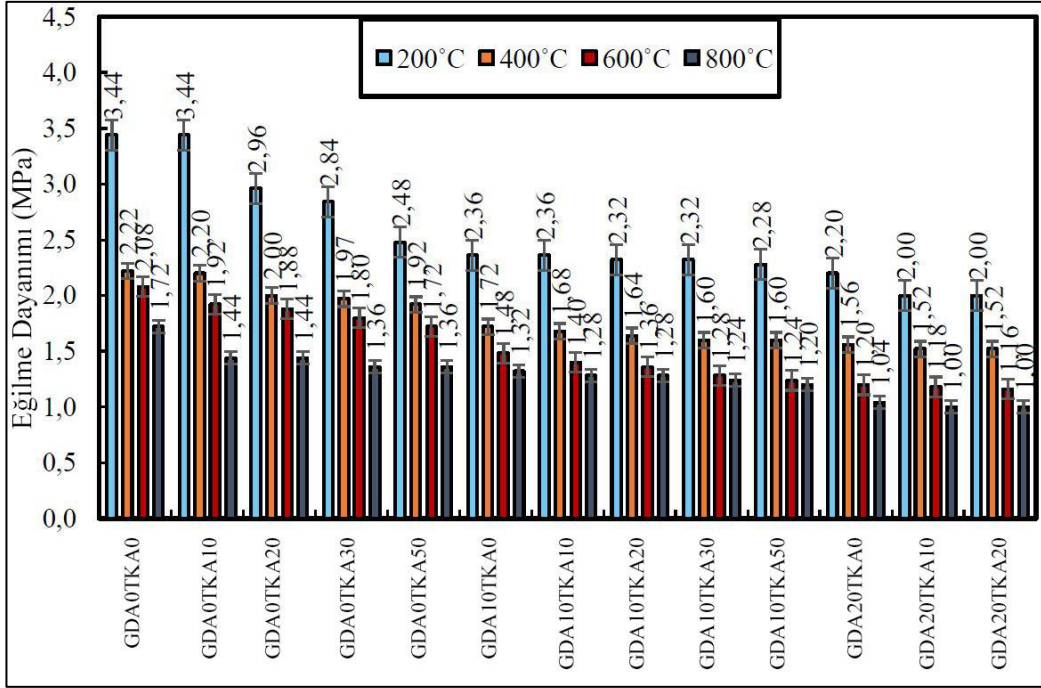
Şekil 4.13, yüksek sıcaklığa maruz bırakıldıktan sonra su ile soğutulan karışımların eğilme mukavemetini göstermektedir. Bu şekle göre 200°C'ye maruz kalan karışımlar yaklaşık 2 MPa ortalama değeri ile en yüksek eğilme dayanımı değerlerine sahiptir. Ancak 800°C'de önemli bir eğilme mukavemeti kaybı gözlemlenir ve ortalama eğilme mukavemeti yaklaşık 1,1 MPa olarak bulunur. Ayrıca, Şekil 4.13'ten, belirli bir taban külü agregası için, %0 ve %50 geri dönüştürülmüş ince agregada, 800°C'ye maruz kalan karışımların ortalama eğilme mukavemetinin yaklaşık 1,5 ve 0,8 MPa olduğu ve bu da yaklaşık %50 daha düşük bir mukavemet gösterdiği görülebilir. %50 geri dönüştürülmüş ince agregaya içeren karışımlar. Aynı şekilde, belirli bir geri dönüştürülmüş ince agregaya için, %0'dan %50'ye kadar taban külü agregasının eklenmesi, 800°C'ye maruz kalan numunelerin ortalama eğilme mukavemetini yaklaşık 1,2'den 1 MPa'ya düşürmüştür. Bu sadece yaklaşık %12 mukavemet azalması gösterir. Bölüm 4.9.1.1'de açıklanan hava soğutmalı numunelerle karşılaştırıldığında, bu, numunelerin mikro yapısı üzerinde daha fazla stres oluşturan ani sıcaklık değişikliği nedeniyle potansiyel olarak önemli ölçüde daha yüksek bir mukavemet kaybı gösterir (Koksal vd., 2021).



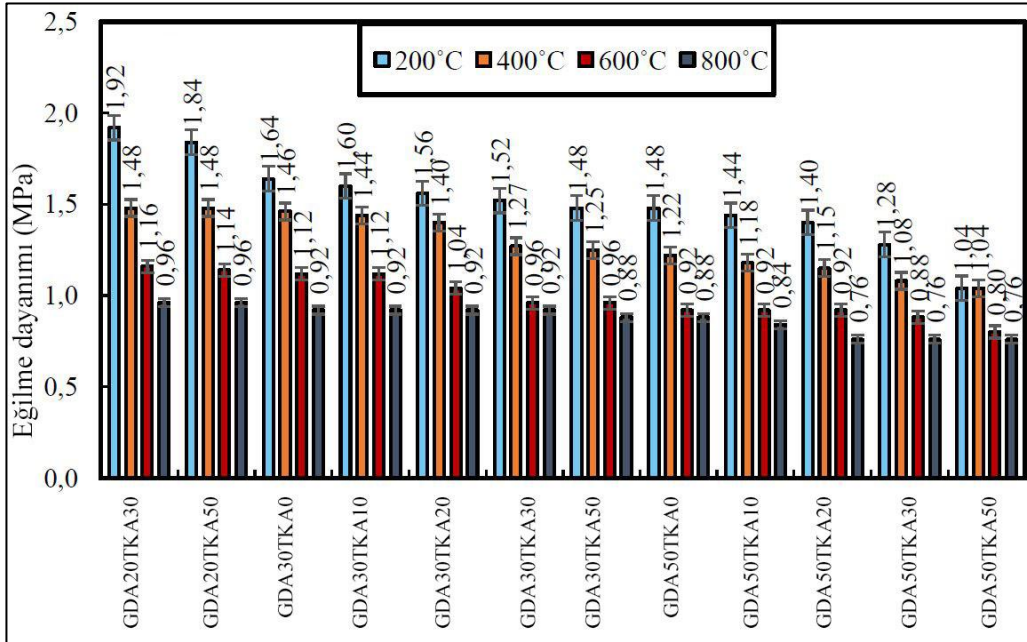
a)



Şekil 4.12 (a) ve (b) Yüksek sıcaklıklara maruz bırakılan ve su soğutmalı karışımların basınç dayanımı



a)



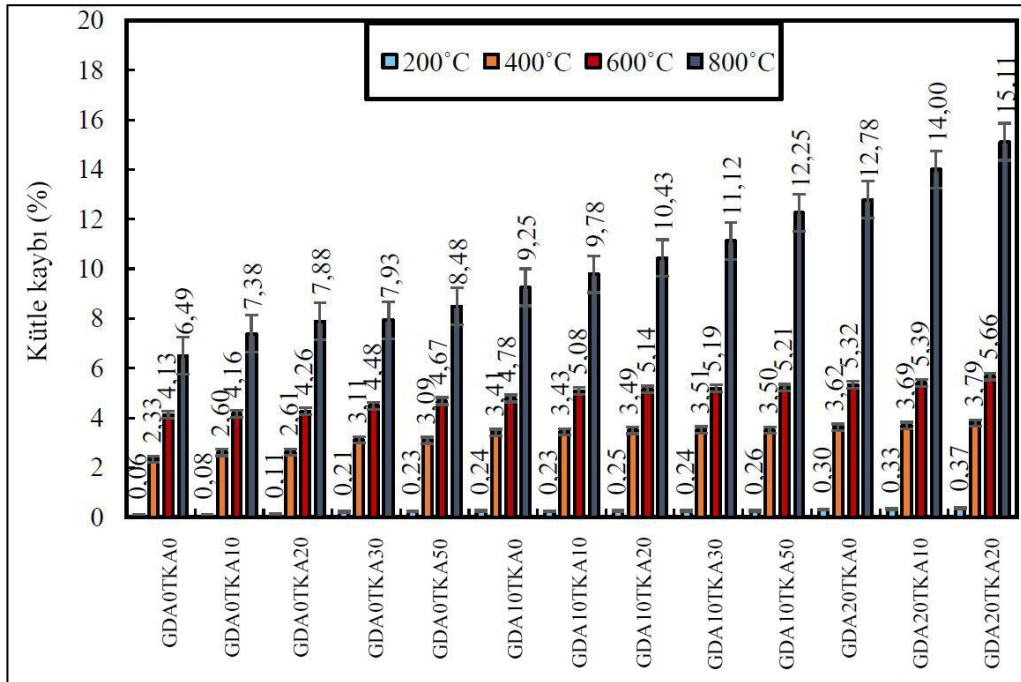
b)

Şekil 4.13 (a) ve (b): Yüksek sıcaklıklara maruz bırakılan ve su soğutmalı karışımların eğilme dayanımı

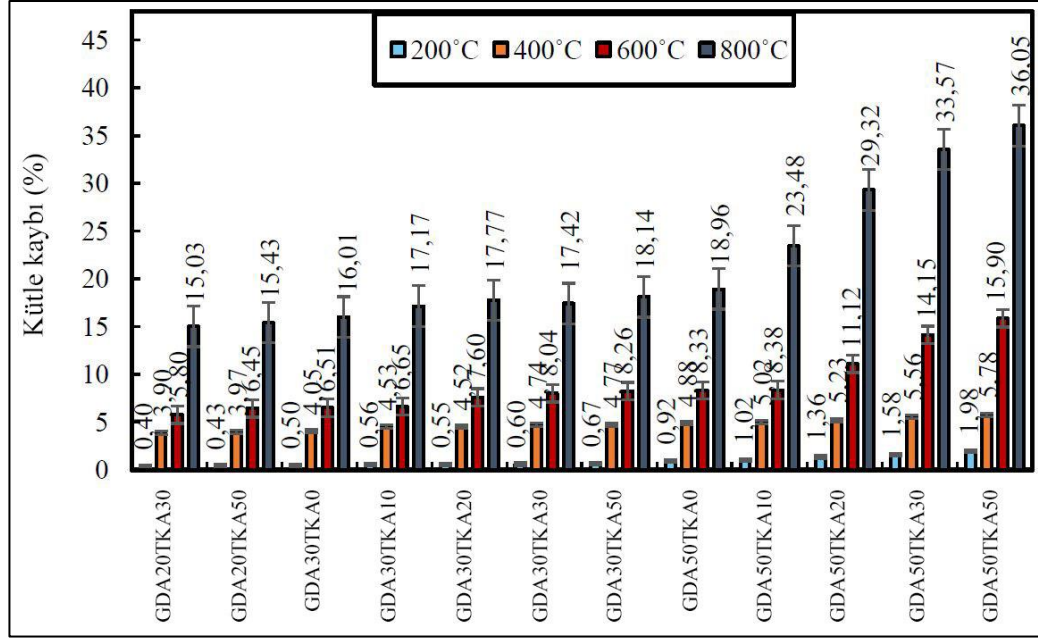
4.8.2.2 Kütle kaybı

Yüksek sıcaklıklara maruz bırakılan ve su ile soğutulan karışımların kütle kaybı Şekil 4.14'te gösterilmektedir. Bu şekle göre 200, 400, 600 ve 800°C'ye maruz kalan karışımların ortalama kütle kaybı yaklaşık 0,5; 4; 6,8 ve sırasıyla %15,6. Bu şekilde görülebileceği gibi, en yüksek kütle kaybı, geri dönüştürülmüş ince agrega ve taban külü agregasının en yüksek kombine içeriğine sahip karışımlar için belgelenmiştir. Bu neredeyse doğrusal eğilim, daha yüksek geri dönüştürülmüş ince agrega içeriği ve daha düşük aşınma direncine sahip taban külü agregası ile karışımların 4.5 bölümünde elde edilen ve tartışılan sonuçları doğrulamaktadır. Bununla birlikte, %50'ye kadar taban külü içeren karışımların, %100 kireçtaşı kumu içeren karışımlarla karşılaştırılabilir bir performansa sahip olduğu bulunmuştur.

Şekil 4.14'ten, 800°C'ye maruz kalan karışımlar için geri dönüştürülmüş ince agrega ve taban külü agregasının %0'dan %50'ye yükselmesinin, 0 ile eşlik eden karışımların kütle kaybı değerlerinde sırasıyla geri dönüştürülmüş ince agrega ve taban külü agregası yaklaşık %270 ve %42'lik bir artışa neden olduğu görülmektedir. Bu, %50 taban külü agregalı karışımlara göre %50 geri dönüştürülmüş ince agregalı karışımlarda yaklaşık 6 kat daha fazla kütle kaybı anlamına gelir.



a)

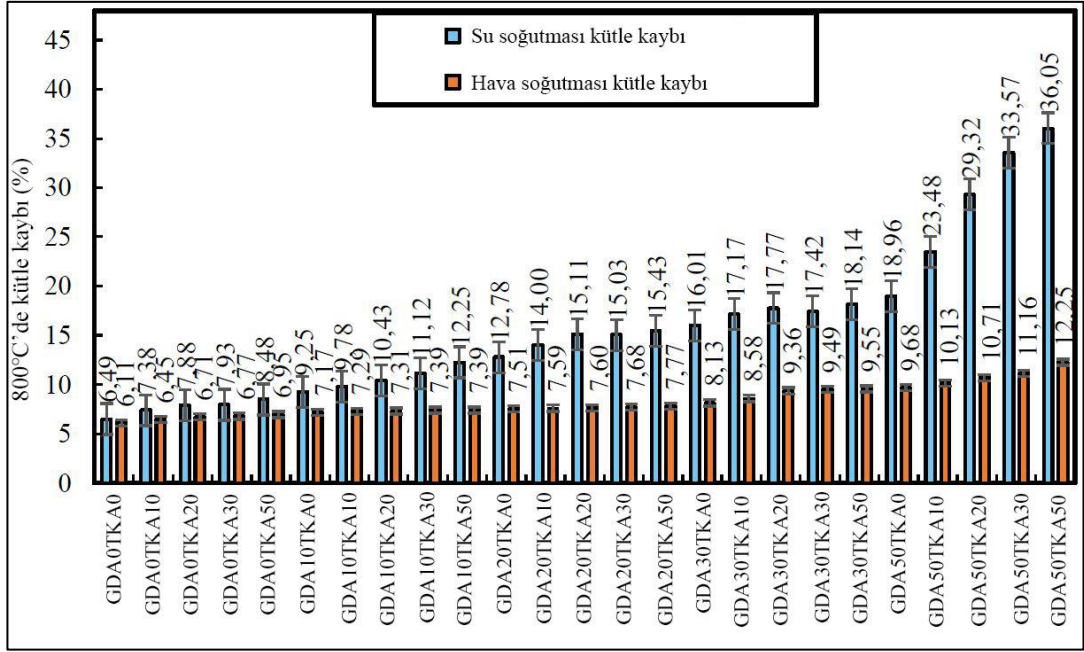


b)

Şekil 4.14 (a) ve (b): Yüksek sıcaklıklara maruz kalan ve hızla su ile soğutulan karışımların kütle kaybı

4.8.2.3 Hava ve su soğutmanın karşılaştırmalı kütle kaybı

Şekil 4.15, 800°C'ye maruz bırakıldıktan sonra su ile hava soğutmalı karışımların karşılaştırmalı kütle kaybı sonuçlarını sunar. Bu şekle dayanarak, su ve hava soğutmalı numunelerin ortalama kütle kaybının yaklaşık %16 ve %8 olduğu görülebilir. Bu, 800°C'ye maruz bırakıldıktan sonra suyla soğutulan karışımların kütle kaybında neredeyse %100'lük bir artış olduğunu gösterir. Bu temelde, su ile soğutulan numunelerin, mikroyapısal çatlakların meydana gelmesine neden olan nispeten yüksek sıcaklık düşüşünden kaynaklanabilecek önemli ölçüde daha yüksek derecede kütle kaybı yaşadığı sonucuna varılabilir (Koksall vd., 2021). Bununla birlikte, özellikle Şekil 4.15'den görülebileceği gibi, geri dönüştürülmüş agregalı ve agregasız karışımların kütle kaybındaki fark, hava soğutmalı olduklarında oldukça önemsizdir. Bununla birlikte, suyla soğutmada, özellikle termal stres gradyanlarını numunelerin mikro yapısı boyunca eşit olarak dağıtamayan daha yüksek gözenekliliğe ve daha düşük homojenlik derecesine sahip karışımlar için önemli kütle kaybı meydana gelir.

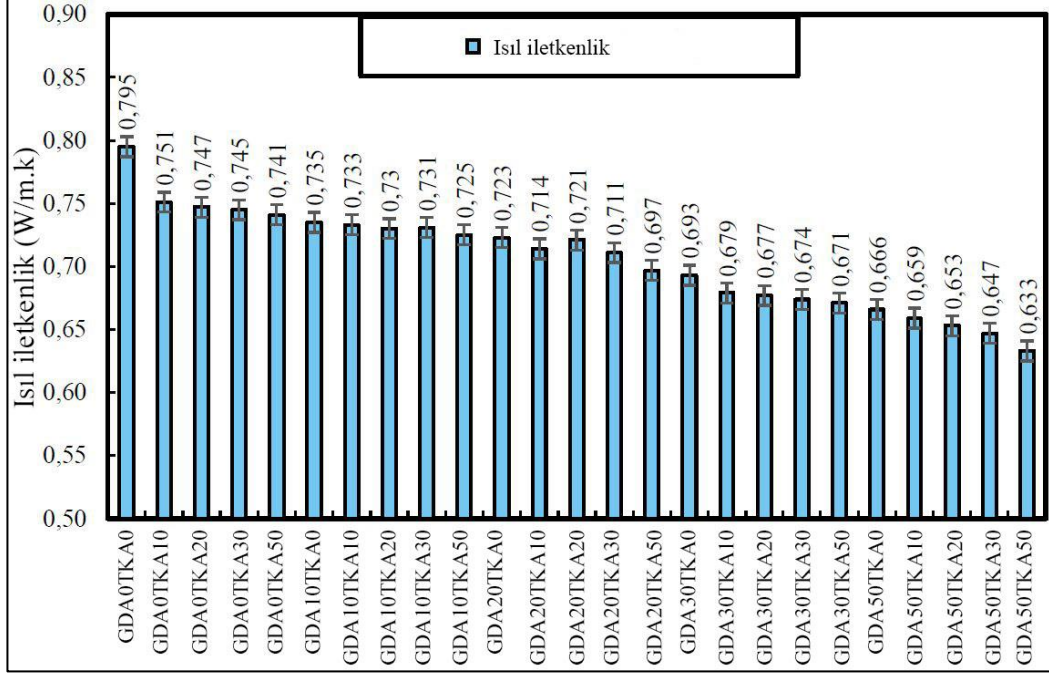


Şekil 4.15 800°C'ye maruz bırakılan ve kademeli veya hızlı bir şekilde soğutulan numunelerin karşılaştırmalı kütle kaybı

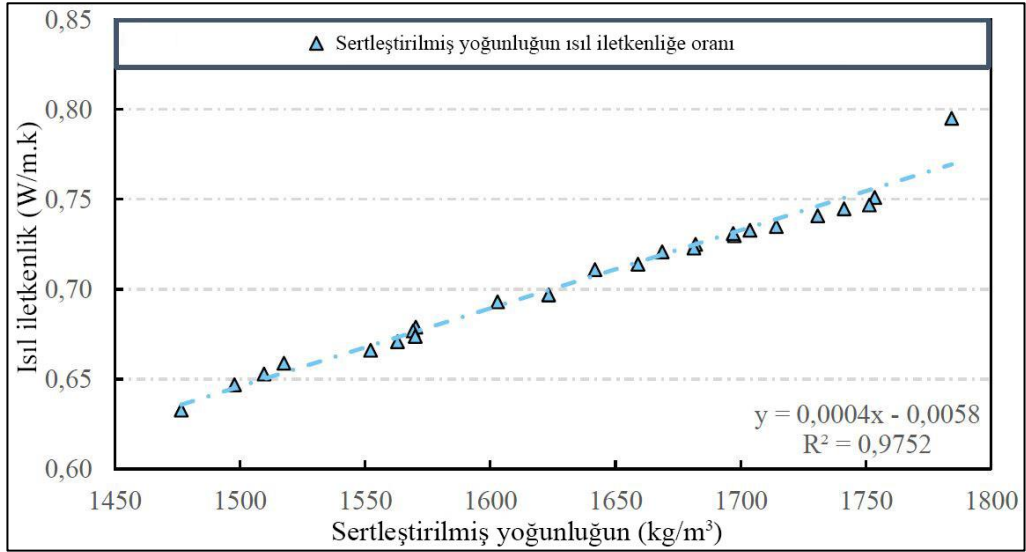
4.9 Termal İletkenlik

Isıl iletkenlik, birim alan başına kayıp olarak ifade edilen ısıyı iletme oranını ölçmek için bir araçtır (Edwards, 1970). Şekil 4.16, çeşitli karışımların sertleştirilmiş yoğunluğuna karşı termal iletkenlik ile birlikte termal iletkenlik testinin sonuçlarını sunar. Şekil 4.16 (a)'ya göre, yaklaşık 0,79 W/m.k ile en yüksek ısıl iletkenlik değeri, en yüksek kireçtaşı kumu içeriğine sahip karışımdan (GDA0TKA0) elde edilmiştir. En düşük değer ise en yüksek geri dönüştürülmüş ince agrega ve taban külü agregası (GDA50TKA50) kombinasyonuna sahip karışımdan elde edilmiştir. Aynı şekilde, belirli bir geri dönüştürülmüş ince agrega içeriği için taban külü miktarını %0'dan %50'ye çıkarmanın, ortalama ısıl iletkenlik değerlerini yaklaşık %4 oranında azalttığı görülebilir. Belirli bir taban külü agregası içeriğinde, geri dönüştürülmüş ince agrega içeriğinin %0'dan %50'ye çıkarılması, termal iletkenlik değerini yaklaşık %14 azaltmıştır. Daha yüksek geri dönüştürülmüş ince agrega içeren karışımlar için termal iletkenlik değerlerindeki daha yüksek azalma, bölüm 4.4'te tartışıldığı gibi, %50 geri dönüştürülmüş ince agrega içeriğine sahip karışımların daha yüksek gözenekliliği ile uyumludur.

Şekil 4.16 (b), sertleştirilmiş yoğunluk değerlerinin eğilimini ve bunların ilgili termal iletkenliğini sunar. Bu şekle dayanarak, yoğunluk arttıkça iletkenlik değerlerinin de hemen hemen lineer olarak arttığı görülebilir (Baranova ve Ryabkov, 2019; Bayraktar vd., 2021; Gencel, vd., 2021; Hillel, 2003).



a)

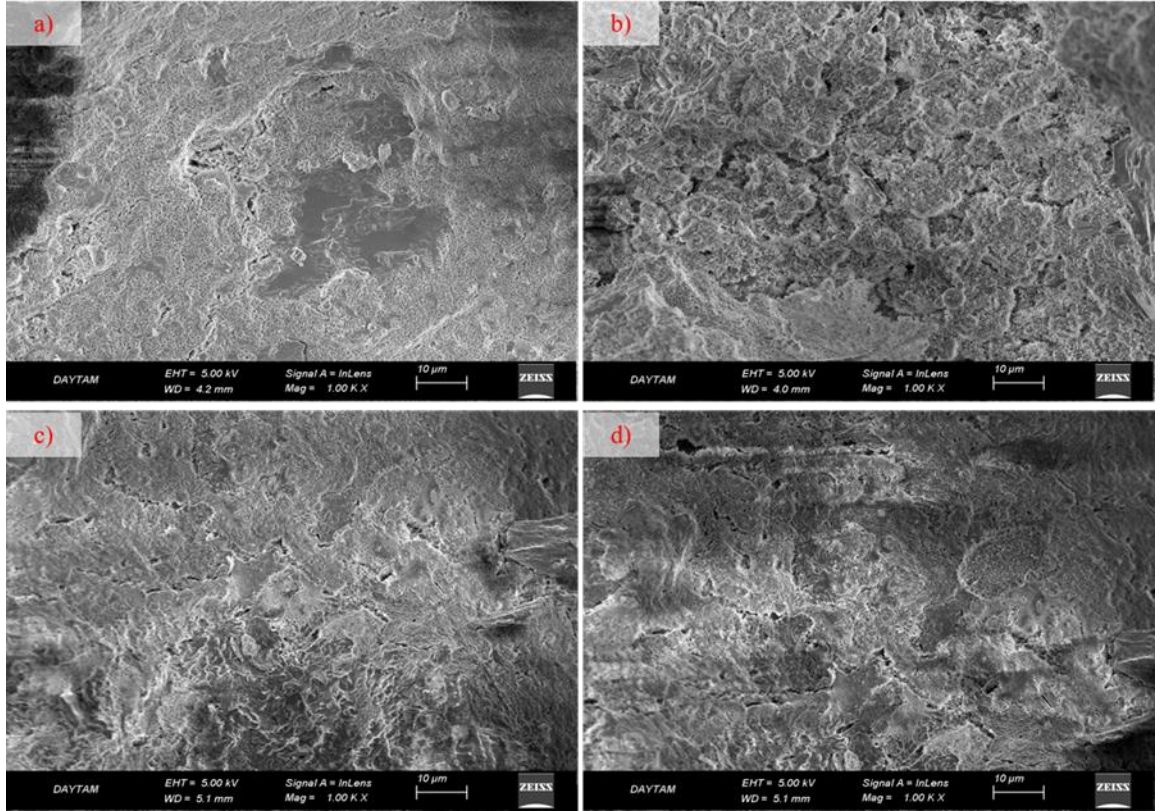


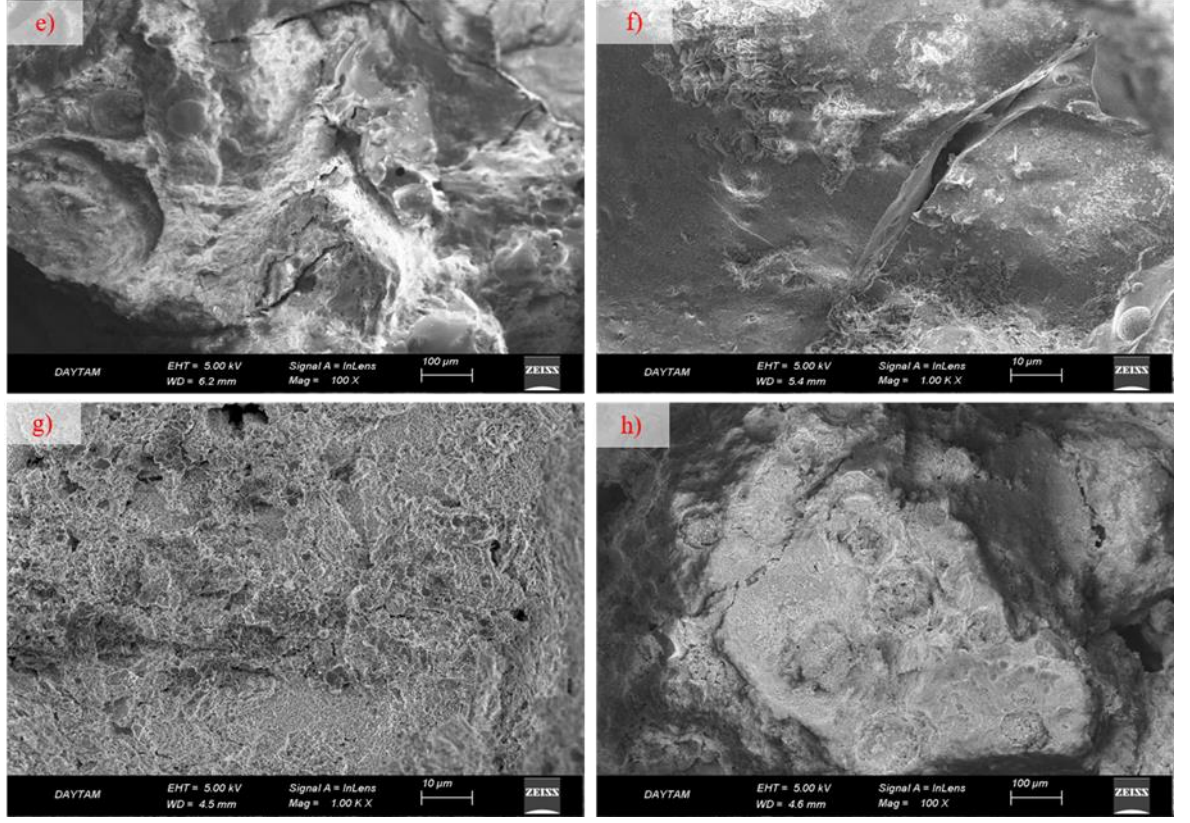
b)

Şekil 4.16 Farklı karışımların ısıl iletkenliği (a) ve sertleştirilmiş yoğunluğun ısıl iletkenliğe oranı (b)

4.10 SEM Analizi

Şekil 4.17, su ve hava ile soğutulduktan sonra GDA0TKA0 ve GDA50TKA50 örneklerinden alınan SEM görüntülerini sunmaktadır. Şekle göre, Şekil 4.17 (a) ile (d)'de gösterilen hava soğutmalı numuneler, Şekil 4.17 (e) ile (d)'de gösterilen su soğutmalı numunelerle karşılaştırıldığında, çatlakların daha az yerleşik olduğu daha fazla sayıda mikro gözenek geliştirdiği görülmüştür. (H). Bu gözlem, hızlı su ile soğutulan numunelerdeki ani sıcaklık değişiminin çatlak oluşumu ve gelişimi üzerindeki etkisinden kaynaklanabilir. Ek olarak, Şekil 4.17'den, %100 kalker ile yapılan karışımların (Şekil 4.17 (a, b, e ve f)) %50 geri dönüştürülmüş ince agrega ve %50 taban külü agregası içeren karışımlara göre daha düşük gözenek içeriğine sahip olduğu görülebilir. Bu, %100 kireçtaşı kumu içeren karışımlara kıyasla, geri dönüştürülmüş ince agrega ve taban külü agregasının birlikte kullanıldığı karışımların daha yüksek gözenekliliği hakkında bölüm 4.4'te özetlenen sonuçları daha da doğrulayabilir.





Şekil 4.17 Hava soğutmalı numuneler (GDA0TKA0 (a, b), GDA50TKA50 (c, d)) ve su soğutmalı numuneler (GDA0TKA0 (e, f), GDA50TKA50 (g, h))

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, üç farklı ince agreganın (örneğin, kalker, taban külü ve geri dönüştürülmüş ince agregası) köpük betonun fiziko-mekanik ve termo-dayanıklılık özelliklerine etkisi değerlendirilmiştir. Bu analize dayanarak, aşağıdaki sonuçlar çıkarılabilir:

- İşlenebilirlik açısından %100 kalkerli kum içeren betonlar, geri dönüştürülmüş ince agregası ve taban külü agregası içeren betonlara göre daha yüksek akışkanlık değerlerine sahiptir. Geri dönüştürülmüş ince agregası ve taban külü agregası içeriği arttıkça betonun işlenebilirliği azalır. Bu çalışmada kaydedilen en düşük akış çapı değeri %50 geri dönüştürülmüş ince agregası ve %50 taban külü agregası içeren beton için olmuştur.
- Basınç ve eğilme dayanımı testlerinin sonucu, %100 kireçtaşı kumlu betonların, değişen miktarlarda geri dönüştürülmüş ince agregası ve taban külü agregası içeren diğer tüm beton karışımlarından daha iyi performans gösterdiğini göstermiştir. Bu bakımdan, geri dönüştürülmüş ince agreganın etkisi, basınç ve eğilme mukavemeti değerlerini düşürmede en belirgin olanıdır.
- Betonların taze ve sertleşmiş yoğunluk değerleri, kalker kumlu betonlar için en yüksek yoğunluk değerleri ile %50 geri dönüştürülmüş ince agregası ve %50 taban külü agregası içeren karışımlar için en düşük yoğunluk değerleri ile hemen hemen benzer bir eğilim göstermiştir.
- Taban külü agregası suyu emebilir ve geri dönüştürülmüş ince agregası ile karşılaştırıldığında daha yüksek bir toplam gözenekliliğe sahipken dahili bir kütleme maddesi olarak kullanılabilir. Kireçtaşı kumu ise köpük betonda en düşük su emme ve gözeneklilik değerlerini geliştirmek için en uygun ince agregası malzemesidir.

- %100 kalker kumlu betonlar, geri dönüştürülmüş ince agregası ve taban külü agregası içeren betonlara kıyasla çok daha yüksek aşınma direncine sahiptir. Geri dönüştürülmüş ince agregalı betonlar aşınmaya karşı en az direnç gösterir.
- Kapilerite testi sonuçları, köpük betonun sıvı taşıma kapasitesini azaltmak için kireçtaşı kumunun en etkili ince agregası olduğunu göstermiştir. Bununla birlikte, geri dönüştürülmüş ince agregası, köpük betonda önemli ölçüde yüksek kapilerite değerleri geliştirir. Bu daha yüksek kapilerite ve su emme nedeniyle, geri dönüştürülmüş ince agregası, kuruma büzülmesi açısından her zaman diğer agregası malzemelerine göre daha iyi performans gösterir. Bu doğrultuda %50 geri dönüşümlü ince agregalı betonların, %50 taban külü agregalı betonlara göre dört kat daha yüksek ortalama kuruma büzülmesi değerleri gösterdiği tespit edilmiştir.
- Yüksek sıcaklıklara maruz kalan ve ardından hızla soğutulan köpük beton, kademeli olarak havayla soğutulanlara kıyasla önemli ölçüde daha yüksek kütle kaybı ve daha düşük mekanik özellikler geliştirir. Bu, SEM görüntüleri ile daha da doğrulandı ve potansiyel olarak, köpük betonun mikro yapısına daha fazla stres uygulayabilen hızlı soğutulmuş betonlardaki hızlı sıcaklık değişiminden kaynaklanıyor olabilir.

Genel olarak, bu çalışmanın sonuçları önemlidir ve köpük betonların fiziko-mekanik veya termo-dayanıklılık özelliklerinden önemli ölçüde ödün vermeden kireçtaşı kumunu taban külü ve geri dönüştürülmüş ince agregası ile değiştirerek sürdürülebilir köpük beton üretimine katkıda bulunur.

KAYNAKLAR

- A. C109/109M-16a. (2016). Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-In. Or (50-mm) Cube Specimens) | PDF | Cement | Mortar (Masonry). Scribd. <https://www.scribd.com/document/455372959/ASTM-C-109-C-109M-16a-pdf>
- 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.
- Amran, M., Debbarma, S., & Ozbakkaloglu, T. (2021). Fly ash-based eco-friendly geopolymer concrete: A critical review of the long-term durability properties. *Construction and Building Materials*, 270, 121857.
- Arellano-Aguilar, R., Burciaga-Díaz, O., Gorokhovskiy, A., & Escalante-García, J. I. (2014). Geopolymer mortars based on a low grade metakaolin: Effects of the chemical composition, temperature and aggregate: binder ratio. *Construction and Building Materials*, 50, 642-648.
- 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
- ASTM. (2012a). Standard Test Method for Abrasion Resistance of Concrete or Mortar Surfaces by the Rotating-Cutter Method. ASTM (American Soc. Test. Mater). <https://doi.org/10.1520/mnl10913m>
- ASTM. (2012b). Standard Test Method for Abrasion Resistance of Concrete or Mortar Surfaces by the Rotating-Cutter Method. ASTM (American Society for Testing and Materials). <https://doi.org/10.1520/mnl10913m>
- ASTM. (2013). ASTM C642 :Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete, ASTM International, United States. Annual Book of ASTM Standards, March, 1-3. <https://doi.org/10.1520/C0642-13.5>.

- ASTM C348. (1998). Standard Test Method for Flexural Strength of Hydraulic-Cement Mortars. Annual Book of ASTM Standards, 04, 2-7. <https://doi.org/10.1520/C0348-14.2>
- ASTM C348. (2019). Standard Test Method for Flexural Strength of Hydraulic-Cement Mortars. ASTM International, West Conshohocken, PA.,
- ASTM C349-08. (2008). Standard test method for compressive strength of hydraulic-cement mortars (using portions of prisms broken in flexure). ASTM International, 1-4. <https://doi.org/10.1520/C0349-14.2>
- ASTM C596. (2018). Standard Test Method for Drying Shrinkage of Mortar Containing Hydraulic Cement, West Conshohocken, PA: ASTM International.,
- ASTM C1437. (2007). Standard Test Method for Flow of Hydraulic Cement Mortar. ASTM International, i, 6-7. <https://doi.org/10.1520/C0265-08.2>
- ASTM Committee C01.31. (2007). ASTM C596-07 Standard Test Method for Drying Shrinkage of Mortar Containing Hydraulic Cement. Annual Book of ASTM Standards Volume 04.01, 11(5), 1-3. <https://doi.org/10.1520/C0596-09>
- Bai, Y., Darcy, F., & Basheer, P. A. M. (2005). Strength and drying shrinkage properties of concrete containing furnace bottom ash as fine aggregate. *Construction and Building materials*, 19(9), 691-697.
- Baranova, A., & Ryabkov, I. (2019). Investigation of thermal conductivity of non-autoclaved foam concrete based on microsilica. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 667(1), 012010.
- 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., Saglam-Citoglu, G., Belgin, C. M., Cetin, S., & Cetin, M. (2019a). 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. (2019b). 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., Saglam-Citoglu, G., & Abo Aisha, A. E. S. (2019c). 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. (2019d). Performance research of lime based mortars. *International Journal of Trend in Research and Development*, 6(1), 257–259.

- 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. (2021). 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*, 1-7
- 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.
- Bentz, D. P., Ardani, A., Barrett, T., Jones, S. Z., Lootens, D., Peltz, M. A., Sato, T., Stutzman, P. E., Tanesi, J., & Weiss, W. J. (2015). Multi-scale investigation of the performance of limestone in concrete. *Construction and Building Materials*, 75, 1-10.
- Bhaskar, A., Assadi, M., & Nikpey Somehsaraei, H. (2020). Decarbonization of the iron and steel industry with direct reduction of iron ore with green hydrogen. *Energies*, 13(3), 758.
- Bheel, N., Kumar, A., Shahzaib, J., Ali, Z., & Ali, M. (2021). An investigation on fresh and hardened properties of concrete blended with rice husk ash as cementitious ingredient and coal bottom ash as sand replacement material. *Silicon*, 1-12.
- Bogas, J. A., de Brito, J., & Ramos, D. (2016). Freeze–thaw resistance of concrete produced with fine recycled concrete aggregates. *Journal of Cleaner Production*, 115, 294-306. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.12.065>
- 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., & Saat, A. (2017a). Indoor air quality: the samples of Safranbolu Bulak Mencilis cave. *Fresenius Environmental Bulletin*, 26(10), 5965-5970.
- Cetin, M., Sevik, H., & Zeren, I. (2017b). Coastal biocomfort mapping for Doganyurt planning: a case study of the Yesilyuva Nature Park. *The effects of environmental policies on sustainability: theory and methods*, 43.

- 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. (2020a). Climate comfort depending on different altitudes and land use in the urban areas in Kahramanmaraş City. *Air Quality, Atmosphere & Health*, 13(8), 991-999.
- Cetin, M. (2020b). 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., & Cobanoğlu, 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.
- Chen, J. M. (2021). Carbon neutrality: Toward a sustainable future. *The Innovation*, 2(3).
- Çobanoğlu, H., Şevik, H. (2021a). Determination of Aluminum Accumulation in Atmosphere by Using Cedar Tree Annual Rings, *9th Global Conference on Environmental Studies (CENVISU-2021)*. October 14-16, 2021. Antalya, Turkey. p. 6.
- Çobanoğlu, H., Şevik, H. (2021b). 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.
- De Juan, M. S., & Gutiérrez, P. A. (2009). Study on the influence of attached mortar content on the properties of recycled concrete aggregate. *Construction and building materials*, 23(2), 872-877.
- Debbarma, S., Ransinchung, G. D., Singh, S., & Sahdeo, S. K. (2020). Utilization of industrial and agricultural wastes for productions of sustainable roller compacted concrete pavement mixes containing reclaimed asphalt pavement aggregates. *Resources, Conservation and Recycling*, 152, 104504.

- Debbarma, S., Selvam, M., & Singh, S. (2020). Can flexible pavements' waste (RAP) be utilized in cement concrete pavements?—A critical review. *Construction and Building Materials*, 259, 120417.
- Edwards, R. A. (1970). Thermal Conductivity. <https://www.sciencedirect.com/topics/physics-and-astronomy/thermal-conductivity>
- 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
- EN 1015-18. (2018a). Determination of water absorption coefficient due to capillary action of hardened mortar EN 1015-18.
- EN 1015-18. (2018b). DIN EN 1015-18. <https://www.en-standard.eu>. <https://www.en-standard.eu/din-en-1015-18-methods-of-test-for-mortar-for-masonry-part-18-determination-of-water-absorption-coefficient-due-to-capillary-action-of-hardened-mortar/>
- 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.
- Evangelista, L., & de Brito, J. (2007). Mechanical behaviour of concrete made with fine recycled concrete aggregates. *Cement and Concrete Composites*, 29(5), 397-401. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2006.12.004>
- Evangelista, L., & De Brito, J. (2010). Durability performance of concrete made with fine recycled concrete aggregates. *Cement and Concrete Composites*, 32(1), 9-14.
- Fan, C.-C., Huang, R., Hwang, H., & Chao, S.-J. (2015). The Effects of Different Fine Recycled Concrete Aggregates on the Properties of Mortar. *Materials*, 8(5), 2658-2672. <https://doi.org/10.3390/ma8052658>
- Fathifazl, G., Razaqpur, A. G., Isgor, O. B., Abbas, A., Fournier, B., & Foo, S. (2011). Creep and drying shrinkage characteristics of concrete produced with coarse recycled concrete aggregate. *Cement and Concrete Composites*, 33(10), 1026-1037.
- Ganesan, K., Rajagopal, K., & Thangavel, K. (2008). Rice husk ash blended cement: Assessment of optimal level of replacement for strength and permeability properties of concrete. *Construction and Building Materials*, 22(8), 1675-1683. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2007.06.011>

- Gencil, O., Benli, A., Bayraktar, O. Y., Kaplan, G., Sutcu, M., & Elabade, W. A. T. (2021). 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. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.123374>
- Gencil, 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.
- Gencil, 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.
- Gencil, O., Kazmi, S. M. S., Munir, M. J., Kaplan, G., Bayraktar, O. Y., Yasar, 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.
- Gencil, 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.
- Gholampour, A., Zheng, J., & Ozbakkaloglu, T. (2021). Development of waste-based concretes containing foundry sand, recycled fine aggregate, ground granulated blast furnace slag and fly ash. *Construction and Building Materials*, 267, 121004.
- 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>
- Gökçe, H. S., Hatungimana, D., & Ramyar, K. (2019). Effect of fly ash and silica fume on hardened properties of foam concrete. *Construction and Building Materials*, 194, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.11.036>
- Hillel, D. (2003). “Soil Physics”, in *Encyclopedia of Physical Science and Technology*.
- Houngaloune, S., Ariffin, K. S., Hussin, H. B., Watanabe, K., & Nhinxay, V. (2010). The effects of limestone characteristic, granulation and calcination temperature to the reactivity of quicklime. *Malaysian Journal of Microscopy*, 6(1), 53-57.
- Hu, J., & Wang, K. (2007). Effects of size and uncompacted voids of aggregate on mortar flow ability. *Journal of Advanced Concrete Technology*, 5(1), 75-85.

- Imren, E., Kurt, R., Yucedag, C., Bilir, N., Ozel, H.B., Cetin, M., Sevik, H. (2021). Selection of Superior Clones By The Multi-Dimensional Decision Making Techniques in Scots Pine Seed Orchard, *Journal of Forests*, 8(1): 13-22
- 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.
- International, A. (2001). ASTM C136-01, Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- Jayaranjan, M. L. D., Van Hullebusch, E. D., & Annachhatre, A. P. (2014). Reuse options for coal fired power plant bottom ash and fly ash. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 13(4), 467-486.
- Jones, M. R., McCarthy, M. J., & McCarthy, A. (2003). Moving fly ash utilisation in concrete forward: A UK perspective. *Proceedings of the 2003 International Ash Utilization Symposium*, 20-22.
- Jones, R., Zheng, L., Yerramala, A., & Rao, K. S. (2012). Use of recycled and secondary aggregates in foamed concretes. *Magazine of concrete research*, 64(6), 513-525.
- Juenger, M. C., Snellings, R., & Bernal, S. A. (2019). Supplementary cementitious materials: New sources, characterization, and performance insights. *Cement and Concrete Research*, 122, 257-273.
- 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., Bayraktar, O. Y., & Memis, S. (2021a). 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., Gencil, O., Koksall, F., & Ozbakkaloglu, T. (2021b). Mechanical and durability properties of steel fiber-reinforced concrete containing coarse recycled concrete aggregate. *Structural Concrete*, 22(5), 2791-2812.
- 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., Gulcan, A., Cagdas, B., & Bayraktar, O. Y. (2021d). 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. (2021e). 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.
- 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>
- 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>
- Kim, H.-K., Jeon, J. H., & Lee, H.-K. (2012). Flow, water absorption, and mechanical characteristics of normal-and high-strength mortar incorporating fine bottom ash aggregates. *Construction and Building Materials*, 26(1), 249-256.
- Kim, H.-K., & Lee, H.-K. (2011). Use of power plant bottom ash as fine and coarse aggregates in high-strength concrete. *Construction and Building Materials*, 25(2), 1115-1122.
- Kirthika, S. K., & Singh, S. K. (2020). Durability studies on recycled fine aggregate concrete. *Construction and Building Materials*, 250, 118850.
- 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. (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 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 (2021e). 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
- Koksal, F., Kocabeyoglu, E. T., Gencil, O., & Benli, A. (2021). The effects of high temperature and cooling regimes on the mechanical and durability properties of basalt fiber reinforced mortars with silica fume. *Cement and Concrete Composites*, 104107.
- Kou, S.-C., & Poon, C.-S. (2009). Properties of concrete prepared with crushed fine stone, furnace bottom ash and fine recycled aggregate as fine aggregates. *Construction and Building Materials*, 23(8), 2877-2886.
- Kravkaz Kuscü, 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-Kuscü, 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.
- Kunhanandan Nambiar, E. K., & Ramamurthy, K. (2008). Fresh state characteristics of foam concrete. *Journal of materials in civil engineering*, 20(2), 111-117.
- Kurama, H., & Kaya, M. (2008). Usage of coal combustion bottom ash in concrete mixture. *Construction and building materials*, 22(9), 1922-1928.
- Kuzielová, E., Pach, L., & Palou, M. (2016). Effect of activated foaming agent on the foam concrete properties. *Construction and Building Materials*, 125, 998-1004.
- Li, Z., Liu, J., Xiao, J., & Zhong, P. (2019). A method to determine water absorption of recycled fine aggregate in paste for design and quality control of fresh mortar. *Construction and Building Materials*, 197, 30-41.
- Li, Z., Liu, J., Xiao, J., Zhong, P., & Wang, J. (2020). Drying shrinkage of mortar manufactured with recycled fine aggregate at vary initial saturation degree. *Construction and Building Materials*, 264, 120621.
- McNeil, K., & Kang, T. H.-K. (2013). Recycled concrete aggregates: A review. *International journal of concrete structures and materials*, 7(1), 61-69.

- Monteiro, P. J., Miller, S. A., & Horvath, A. (2017). Towards sustainable concrete. *Nature materials*, 16(7), 698-699.
- Monu, K., R. N., G. R., Pandey, G. S., & Singh, S. (2020). Performance Evaluation of Recycled-Concrete Aggregates and Reclaimed-Asphalt Pavements for Foam-Mix Asphalt Mixes. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 32(10), 04020295. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0003356](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0003356)
- Oates, J. A. (2008). *Lime and limestone: Chemistry and technology, production and uses*. John Wiley & Sons.
- Ozel, H.B., Varol, H.N., Sevik, H. (2021a) 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., Varol, H.N., Sevik, H. (2021b) 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 HB, Cetin M, Sevik H, Varol T, Isik B, Yaman B (2021c) 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. (2021d). 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., Sen, M., Sevik, H. (2021d) 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.
- Özel, H, Şevik, H, Kaptan, S, Varol, T. (2021). Doğu Kayını (*Fagus orientalis* Lipsky.) Bireylerinde Farklı Alana Geliş Şekillerine Göre Bazı Morfolojik ve Fizyolojik Özellikler Arasındaki Farklılıkların İncelenmesi. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 23 (2), 636-641. DOI: 10.24011/barofd.958446
- Pasupathy, K., Ramakrishnan, S., & Sanjayan, J. (2021). Influence of recycled concrete aggregate on the foam stability of aerated geopolymer concrete. *Construction and Building Materials*, 271, 121850. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121850>

- Patuleia, A., & Littlecott, C. (2019). Accelerating the coal-to-clean transition in Portugal and Spain: Insights from the decline of coal generation in 2019. JSTOR.
- Rafieizonooz, M., Mirza, J., Salim, M. R., Hussin, M. W., & Khankhaje, E. (2016). Investigation of coal bottom ash and fly ash in concrete as replacement for sand and cement. *Construction and Building Materials*, 116, 15-24.
- 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., Cetin, M., Kapucu, O., Aricak, B., & Canturk, U. (2017). Effects of light on morphologic and stomatal characteristics of Turkish Fir needles (*Abies nordmanniana* subsp. *Bornmulleriana* Mattf.). *Fresenius Environmental Bulletin*, 26 (11), 6579-6587.
- 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., Ozel, H. B., & Pinar, B. (2019b). Changes in Pb, Cr and Cu concentrations in some bioindicators depending on traffic density on the basis of species and organs. *Applied Ecology and Environmental Research*, 17 (6), 12843-12857.
- Sevik, H., Ozel, H. B., Cetin, M., Özel, H. U., & Erdem, T. (2019c). Determination of changes in heavy metal accumulation depending on plant species, plant organism, and traffic density in some landscape plants. *Air Quality, Atmosphere & Health*, 12 (2), 189-195.
- Sevik, H., Cetin, M., Ozturk, A., Yigit, N., & Karakus, O. (2019d). 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.

- Sevik, H. (2021). The Variation of Chrome Consantration in Some Landscape Plants Due to Species, Organ and Traffic Density. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 9(3), 595-600.
- Shah, H. R., & Weiss, J. (2006). Quantifying shrinkage cracking in fiber reinforced concrete using the ring test. *Materials and structures*, 39(9), 887-899.
- Sharipudin, S. S., & Ridzuan, A. R. M. (2013). Influence of Waste Paper Sludge Ash (WPSA) and Fine Recycled Concrete Aggregate (FRCA) on the Compressive Strength Characteristic of Foamed Concrete. *Advanced Materials Research*, 626, 376-380. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.626.376>
- Singh, M., & Siddique, R. (2014). Compressive strength, drying shrinkage and chemical resistance of concrete incorporating coal bottom ash as partial or total replacement of sand. *construction and Building Materials*, 68, 39-48.
- Singh, M., & Siddique, R. (2015). Properties of concrete containing high volumes of coal bottom ash as fine aggregate. *Journal of Cleaner Production*, 91, 269-278.
- Singh, M., & Siddique, R. (2016). Effect of coal bottom ash as partial replacement of sand on workability and strength properties of concrete. *Journal of cleaner production*, 112, 620-630.
- Singh, S., Ransinchung, G. D., Debbarma, S., & Kumar, P. (2018). Utilization of reclaimed asphalt pavement aggregates containing waste from Sugarcane Mill for production of concrete mixes. *Journal of Cleaner Production*, 174, 42-52.
- Song, I. H., & Ryou, J. S. (2014). Hybrid techniques for quality improvement of recycled fine aggregate. *Construction and Building Materials*, 72, 56-64.
- Soni, A. K., & Nema, P. (2021). *Limestone Mining in India*. Springer.
- 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.
- ul Haq, E., Padmanabhan, S. K., & Licciulli, A. (2014). Synthesis and characteristics of fly ash and bottom ash based geopolymers—A comparative study. *Ceramics International*, 40(2), 2965-2971.
- 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.
- 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.
- 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.
- URL-1; Enerji Atlası, Türkiye'deki Termik Santraller, Enerji Atlası <http://www.enerjiatlası.com/komur/> ; (Ziyaret Tarihi 20 Temmuz 2021)
- Vance, K., Aguayo, M., Oey, T., Sant, G., & Neithalath, N. (2013). Hydration and strength development in ternary portland cement blends containing limestone and fly ash or metakaolin. *Cement and Concrete Composites*, 39, 93-103.
- Wang, D., Shi, C., Farzadnia, N., Shi, Z., Jia, H., & Ou, Z. (2018). A review on use of limestone powder in cement-based materials: Mechanism, hydration and microstructures. *Construction and Building Materials*, 181, 659-672.
- 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>
- Xing, W., Tam, V. W., Le, K. N., Hao, J. L., & Wang, J. (2022). Life cycle assessment of recycled aggregate concrete on its environmental impacts: A critical review. *Construction and Building Materials*, 317, 125950.

- Xu, H., Gong, W., Syltebo, L., Izzo, K., Lutze, W., & Pegg, I. L. (2014). Effect of blast furnace slag grades on fly ash based geopolymer waste forms. *Fuel*, 133, 332-340.
- 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., Sevik, H., Cetin, M., & Gul, L. (2016b). Clonal variation in chemical wood characteristics in Hanönü (Kastamonu) Günlüburun black pine (*Pinus nigra* Arnold. subsp. *Pallasiana* (Lamb.) Holmboe) seed orchard. *Journal of Sustainable Forestry*, 35 (7), 515-526.
- 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.
- 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.
- Yüksel, İ., Bilir, T., & Özkan, Ö. (2007). Durability of concrete incorporating non-ground blast furnace slag and bottom ash as fine aggregate. *Building and Environment*, 42(7), 2651-2659.
- Zega, C. J., & Di Maio, Á. A. (2011). Use of recycled fine aggregate in concretes with durable requirements. *Waste management*, 31(11), 2336-2340.
- 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.
- Zhang, Z., Provis, J. L., Reid, A., & Wang, H. (2014). Geopolymer foam concrete: An emerging material for sustainable construction. *Construction and Building Materials*, 56, 113-127.
- Zhang, Z., Wang, Q., & Chen, H. (2016). Properties of high-volume limestone powder concrete under standard curing and steam-curing conditions. *Powder Technology*, 301, 16-25.
- Zhao, Z., Remond, S., Damidot, D., & Xu, W. (2015). Influence of fine recycled concrete aggregates on the properties of mortars. *Construction and Building Materials*, 81, 179-186. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.02.037>
- Zou, G., Sun, X., Liu, X., & Zhang, J. (2020). Influence factors on using recycled concrete aggregate in foamed asphalt mixtures based on tensile strength and moisture resistance. *Construction and Building Materials*, 265, 120363. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120363>