

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



**ATIK LASTİK VE SİLİS DUMANI KULLANILARAK
ÜRETİLEN KÖPÜK BETONLARIN MEKANİK VE BAZI
DURABİLİTE ÖZELLİKLERİ**

HASAN SÖYLEMEZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DR. ÖĞR. ÜYESİ OĞUZHAN YAVUZ BAYRAKTAR

OCAK - 2022
KASTAMONU

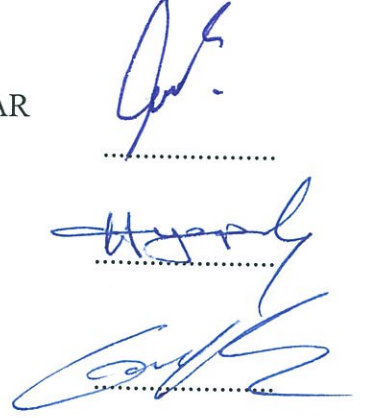
TEZ ONAYI

HASAN SÖYLEMEZ tarafından hazırlanan “Atık Lastik ve Silis Dumanı Kullanılarak Üretilen Köpük Betonların Mekanik ve Bazı Durabilite Özellikleri” adlı tez çalışmasının savunma sınavı **19.01.2022** tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği ile Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Danışman Dr. Öğr. Üyesi Oğuzhan Yavuz BAYRAKTAR
Kastamonu Üniversitesi

Jüri Üyesi Prof. Dr. Hasbi YAPRAK
Kastamonu Üniversitesi

Jüri Üyesi Dr. Öğr. Üyesi Gökhan KAPLAN
Atatürk Üniversitesi



Jüri üyeleri tarafından kabul edilmiş olan bu tez Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca onanmıştır.

Prof. Dr. İzzet ŞENER

Enstitü Müdürü

.....

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.

Hasan SÖYLEMEZ



ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ATIK LASTİK VE SİLİS DUMANI KULLANILARAK ÜRETİLEN KÖPÜK BETONLARIN MEKANİK VE BAZI DURABİLİTE ÖZELLİKLERİ

HASAN SÖYLEMEZ

KASTAMONU ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

DANIŞMAN:DR. ÖĞR. ÜYESİ OĞUZHAN YAVUZ BAYRAKTAR

Bu yüksek lisans tez çalışmasında, çimento dozajı ve agregası olarak atık lastiğin H^2SO^4 ve donma-çözülme döngülerine maruz kalan köpük betonların mekanik, kapilerite ve aşınma özellikleri üzerindeki etkilerine ilişkin deneysel bir çalışma sunmaktadır. Köpük beton karışımları, portland çimentosunun kısmi ikamesi olarak iki yüzde 0 ve 20 silis dumanı ve ince agregaların ikamesi olarak %100 atık lastik ile yapılmıştır. Silis dumanı içeriği %0 ve %20 olan iki grup karışım hazırlanmıştır. Her karışım grubunda 300, 400 ve 500 kg/m^3 lük üç çimento ve 20, 40 ve 60 kg/m^3 lük üç köpük kullanılarak su/bağlayıcı (s/b) oranı 0.75 olan beton karışımları elde edilmiştir. Taze betonların işlenebilirliği yayılma çapına bakılarak değerlendirildi. Karışımların basınç ve eğilme dayanımları 7 ve 28 gün sonra belirlendi ve kapilerite özellikleri 28 gün sonra porozite ve su emme yoluyla ölçüldü. Mikroyapı incelemelerine ek olarak büzülme, emicilik, aşınma, asit saldırısı ve 30 ve 60'lık donma-çözülme döngüleri için testler de gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, çimento dozajındaki artışın, 20 kg/m^3 köpük içeriğinde 300 kg/m^3 dozajlı karışıma kıyasla, 500 kg/m^3 çimento içeriğinde basınç dayanımında %204,50 maksimum artışla sonuçlandığını göstermiştir. Elde edilen sonuçlara göre, çimento dozajı sırasıyla 300 kg/m^3 ve 500 kg/m^3 ve köpük içeriği 20 kg/m^3 olan karışımlar için sırasıyla 5032×10^{-6} ve 7065×10^{-6} mm/mm en düşük ve en yüksek rötre değerlerinin elde edildiği sonucuna varılmıştır. Sonuçlar ayrıca, 500 kg/m^3 köpük içeriği ve 20 kg/m^3 olan silis dumanı katkılı karışımın aşınma, D-Ç döngüleri ve asit saldırısına maruz kaldıktan sonra en iyi direnci gösterdiğini göstermiştir.

ANAHTAR KELİMELER:Atık lastik, Basınç dayanımı, Köpük beton, Sürdürülebilirlik, Isıl iletkenlik

Ocak 2022, 90 Sayfa

ABSTRACT

MSC THESIS

MECHANICAL AND SOME DURABILITY PROPERTIES OF FOAM CONCRETE PRODUCED USING WASTE RUBBER AND SILICA FUME

HASAN SÖYLEMEZ

KASTAMONU UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE
DEPARTMENT OF ENGINEERING MANAGEMENT

SUPERVISOR: DR. ÖĞR. ÜYESİ OĞUZHAN YAVUZ BAYRAKTAR

This paper presents an experimental study of the effects of cement dosage and waste tire rubber as aggregate on the mechanical, transport and abrasion characteristics of foam concretes subjected to H_2SO_4 and freeze–thaw cycles. Foam concrete mixtures were made with two percentages 0, and 20 of silica fume as partial substitution of Portland cement and with 100% of waste tire rubber as substitution of fine aggregates. Two groups of mixtures were prepared with silica fume contents of 0% and 20%. At each group of mixtures, three cement contents of 300, 400 and 500 kg/m^3 and three foam contents of 20, 40 and 60 kg/m^3 were used to produce concretes mixtures having water/binder (w/b) ratio of 0.75. Workability of fresh concretes were assessed by performing slump test. Compressive and flexural strength of the mixtures were determined after 7 and 28 days and transport properties were measured by means of porosity and water absorption after 28 days. Tests for shrinkage, sorptivity, abrasion, acid attack and freeze–thaw cycles of 30 and 60 were also performed in addition to microstructure investigations. An optimization was also performed. The results exhibited that increase in cement dosage resulted in the compressive strength by 204.50% maximum increment at cement content of 500 kg/m^3 as compared to the mixture with dosage of 300 kg/m^3 at foam content of 20 kg/m^3 . Based on the results, it was concluded that the lowest and highest shrinkage values of 5032×10^{-6} and 7065×10^{-6} mm/mm were gained for the mixtures with cement dosages of 300 kg/m^3 and 500 kg/m^3 and foam content of 20 kg/m^3 respectively. The results also indicated that silica fume blended mixture with cement content of 500 kg/m^3 foam content of 20 kg/m^3 showed the best resistance after abrasion, F-T cycles and acid attack exposure.

KEYWORDS: Waste tire, Compressive strength, Foam concrete, Sustainability, Thermal conductivity

January 2022, 90 Page

TEŞEKKÜR

Tez çalıőmamda danıőmanlıęımı yapan, çok değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Oğuzhan Yavuz BAYRAKTAR'a őükranlarımı sunarım. Tez jürime katılan saygıdeğer hocalarım Prof. Dr. Hasbi YAPRAK'a ve Dr. Öğr. Üyesi Gökhan KAPLAN'a teşekkür ederim. Çalıőmam süresince desteklerini hiç esirgemeyen kıymetli aileme minnettarım. Yaptığım tez çalışmasının, bilim dünyasına yararlı olmasını temenni ederim.

HASAN SÖYLEMEZ

Kastamonu, 2022

İÇİNDEKİLER

Sayfa

TEZ ONAYI	i
TAAHHÜTNAME	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
TABLolar DİZİNİ	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR TARAMASI	4
2.1 Atık Lastik.....	5
2.1.1 Atık Lastik Sınıflandırması.....	6
2.1.2 Betonda Atık Lastik Kullanımı.....	7
2.1.3 Atık Lastik İle Alakalı Yapılan Çalışmalar	7
2.2 Köpük Beton.....	18
2.2.1 Köpük Ajanı.....	19
2.2.2 Köpük Betonun Özellikleri Ve Kullanım Alanları	20
2.2.3 Köpük Beton Ve Atık Lastik İle Alakalı Yapılan Çalışmalar	21
3. MATERYAL METOD	22
3.1 Materyal.....	22
3.1.1 Bağlayıcı Malzemeler	22
3.1.2 Köpük Ajanı.....	23
3.1.3 Atık Lastik Kauçuğu Agregası	23
3.1.4 Karışım Suyu	23
3.2 Metod.....	24
3.2.1 Karışım Oranları Ve Numune Hazırlama	24
3.2.2 Testler	25
4. SONUÇ VE TARTIŞMALAR	27
4.1 Köpük Betonun Taze Hal Özellikleri	27
4.2 Basınç Dayanımı	28
4.3 Eğilme Dayanımı.....	30
4.3.1 Ultrases Geçiş Hızı (UGH).....	32
4.3.2 Kuru Birim Hacim Ağırlık.....	35
4.3.3 Isıl iletkenlik	37
4.3.4 Porozite Ve Su Emme.....	39
4.3.5 Kuruma Büzülmesi	44
4.3.6 Kapilerite	46
4.3.7 Durabilite Özellikleri	49
4.3.7.1 Aşınma direnci	49
4.3.8 Donma-Çözülme (D-Ç) Döngüleri	51
4.3.8.1 Basınç dayanımı	51
4.3.8.2 Eğilme dayanımı	54
4.3.8.3 Kütle kaybı.....	56

4.3.8.4 D-Ç maruziyeti sonrası UGH değişimleri.....	57
4.3.9 Asit Etkisi	60
4.3.9.1 Ağırlık kaybı	60
4.3.10 Mikroyapı Analizi.....	63
4.3.11 Optimizasyon	65
5. SONUÇLAR.....	67
KAYNAKLAR.....	69
ÖZGEÇMİŞ.....	89

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1 Agregaların boyuta göre sınıflandırılması	6
Şekil 2.2 Köpük ajanları, (a) protein bazlı köpük ajanı, (b) sentetik köpük ajanı.....	20
Şekil 3.1 Silis dumanına ait a) SEM görüntüleri b) XRD örneği	23
Şekil 4.1 Köpük betonun işlenebilirliği	28
Şekil 4.2 7 ve 28 günlük basınç dayanımı.....	30
Şekil 4.3 7 ve 28 günlük eğilme dayanımı.....	32
Şekil 4.4 a) UGH sonucu 28. gün b) UGH ve basınç dayanımı arasındaki ilişki.....	34
Şekil 4.5 a) Kuru birim ağırlık 28. Gün b) Kuru birim ağırlık ve basınç dayanımı arasındaki ilişki	36
Şekil 4.6 Isıl iletkenlik 28. gün b) Isıl iletkenlik ve kuru birim ağırlık arasındaki ilişki	38
Şekil 4.7 a) Porozite değeri 28. gün b) Basınç dayanımı ve porozite arasındaki ilişki	40
Şekil 4.8 a-c) Porozite ve su emme arasındaki korelasyon ve b-d) Porozite ve kuru birim ağırlık sonuçları	43
Şekil 4.9 Kuruma büzülmesi a) SD = %0 b) SD = %20	46
Şekil 4.10 Kapilarite değeri 28 gün a) SD = %0 b) SD = %20 c) Basınç dayanımı ve kapilarite arasındaki ilişki.....	48
Şekil 4.11 Aşınma miktarı 28 gün a) SD = %0 b) SD = %20 c) Kuru birim ağırlık ve aşınma arası ilişki.....	51
Şekil 4.12 a-b) Basınç dayanımı sonuçları c) D-Ç döngüsü sonrası basınç dayanımı değişiklikleri (%).....	53
Şekil 4.13 a-b) Eğilme dayanımı sonuçları c) D-Ç döngüsü sonrası eğilme dayanımı değişiklikleri (%).....	56
Şekil 4.14 Donma Çözünme sonrası kütle kaybı	57
Şekil 4.15 a-b) Ultrases geçiş hızı sonuçları c) UGH'deki değişimler (%) d) D-Ç döngülerinden sonra UGH'ye karşı basınç dayanımı.....	60
Şekil 4. 16 Asit saldırısından sonra ağırlıktaki değişimi a) SD = %0 b) SD = %20 c) Asite maruz bırakılmış numuneler.....	62
Şekil 4.17 28 gün boyunca suda kürlenmiş SD0C3K20'nin SEM görüntüleri ...	63
Şekil 4.18 28 gün boyunca suda kürlenmiş SD0C4K40'nin SEM görüntüleri ...	63
Şekil 4.19 28 gün boyunca suda kürlenmiş SD20C5K60'nin SEM görüntüleri .	64
Şekil 4.20 H ₂ SO ₄ 'e maruz kalan SD0C3K20'nin SEM görüntüleri.....	64
Şekil 4.21 H ₂ SO ₄ 'e maruz kalan SD0C4K40'nin SEM görüntüleri.....	65
Şekil 4.22 H ₂ SO ₄ 'e maruz kalan SD20C5K60'nin SEM görüntüleri.....	65

TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 2.1 Lastik türlerinin betonda kullanımı	6
Tablo 2.2 Köpük beton yoğunlukları ve kullanım alanları.	21
Tablo 3.1 PC ve SD özellikleri	22
Tablo 3.2 Karışım ve kür de kullanılan suyun özellikleri	24
Tablo 3.3 Karışım oranları (kg/m ³)	25
Tablo 4.1 Faktörlerin ve tepkilerin alt ve üst sınır değerleri	66

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

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

Kısaltmalar

ALKA	: Atık Lastik Kauçuk Agregası
UGH	: Ultrases Geçiş Hızı
SD	: Silis Dumanı
PÇ	: Portland Çimentosu
MPa	: Megapaskal
S/B	: Su/Bağlayıcı

1. GİRİŞ

Dünya nüfusu, son yüzyılda önemli miktarda artmış ve 8 milyara yaklaşmıştır (Elsunousi vd . , 2021; Sevik vd, 2020a, 2020b). Artan dünya nüfusuna ek olarak nüfus kent merkezlerinde yoğunlaşmış, kentsel alanlarda yaşayan nüfusun oranı dünya genelinde %60'ı, ülkemizde ise %92,5'i bulmuştur (Kilicoglu vd . , 2021). 2030 yılına kadar Dünya nüfusunun 8,5 milyarı aşacağı ve kentsel alanlarda yaşayan nüfusun oranının %90'ı bulabileceği tahmin edilmektedir (Karacocuk vd . , 2022). Dünya nüfusunun artması ve kentsel alanlarda yoğunlaşması kentsel alanlarda kirlilik düzeyinin önemli ölçüde artmasına sebep olmuş, dünya genelinde hava (Arıcak vd . , 2019; Cetin vd . , 2020), su (Mutlu vd . , 2016; Ucun Ozel vd . , 2019; 2020) ve toprak (Bayraktar ve Kaplan, 2021a; 2021b; Gencel vd . , 2021a; 2021b) önemli ölçüde kirlenmiştir. Bu sorun öyle ciddi bir boyuta ulaşmıştır ki, günümüzde dünyanın başatmak zorunda kaldığı geri döndürülemez iki sorunun kentleşme (Savas vd . , 2021; Şen vd . , 2018; Zeren Cetin ve Sevik, 2020) ve küresel iklim değişikliği (Koç, 2021a, 2021b, 2021c; Varol vd . , 2021) olduğu ve bu sorunların büyük oranda birbiri ile bağlantılı olduğu belirtilmektedir (Canturk ve Kulac, 2021).

Artan nüfusun istek ve ihtiyaçların karşılanabilmesi amacıyla yapılan sanayi üretimi, hammaddeye ihtiyaç duymaktadır (Cesur vd . , 2021). Sanayide hammadde olarak kullanılan elementlerin birçoğu çevre için kirletici karakterdedir (Turkyilmaz vd . , 2018a; 2018b; 2018c). Bu elementlerin kaynaklarından çıkartılarak salınımı sonucunda hava (Arıcak vd . , 2020; Ghoma vd . , 2022; Isinkaralar, 2020), su (Mutlu ve Güzel, 2019) ve topraktaki (Bayraktar, 2021a; 2021b) miktarları artmakta ve böylece çevrenin kirlenmesi sonucunu doğurmaktadır (Isinkaralar vd . , 2022; Ozel vd . , 2021a; 2021b). Bu süreçte, sanayi faaliyetlerinde ihtiyaç duyulan işgücünün temini için nüfus belirli alanlarda yoğunlaşmakta ve böylece kentleşme sorunu ortaya çıkmaktadır. Ayrıca atmosferin yapısında oluşan değişimler de küresel iklim değişikliğine sebep olmakta ve böylece birbirine bağlı sorunlar olarak küresel iklim değişikliği, kentleşme ve çevre kirliliği dünyanın başatmak zorunda olduğu en büyük sorunlar haline gelmektedir (Sevik vd . , 2019a; 2019b; 2019c; Varol vd . , 2022). Sanayi faaliyetleri sonucunda ortaya çıkan en önemli çevresel sorunlardan birisi de

atık sorunudur. Dünya Bankası raporuna göre, 2016 yılında dünya genelinde 2,01 milyar ton atık üretilmiştir ve bu üretim 2050'de 3,40 milyar tona çıkacaktır (Kaza vd . , 2018). Bu kadar yüksek miktarda atık oluşumunun sağlık, ekonomik ve çevresel yönden tehlikeleri vardır (Gencel vd . , 2022; Kazmi vd . , 2017; Munir vd . , 2018).

İnşaat endüstrisi, atık oluşumuna önemli bir katkıda bulunur (Ghaffar vd . , 2020). Dünya çapında depolanmış atıkların yaklaşık %35'i inşaat endüstrisi tarafından üretilmektedir (Solís-Guzmán vd . , 2009). Ayrıca inşaat sektörü, çevreye önemli etkisi olan birçok doğal kaynağı da tüketmektedir (Gencel vd . , 2021c; Kaplan vd . , 2021a; 2021b). Bu nedenle, inşaat endüstrisi sürdürülebilirliği benimseme ve sadece inşaatla ilgili atıkları değil, aynı zamanda diğer endüstriyel atıkları da yeni malzemeler üretmek ve geri dönüştürmek için büyük bir baskı ile karşı karşıyadır (Kaplan vd . , 2021c; 2021d; Kazmi vd . , 2021).

Beton, esas olarak çimento, kum ve agregalardan oluşan ve inşaat endüstrisi tarafından en yaygın olarak kullanılan malzemedir (Bayraktar, 2019; Luhar ve Luhar, 2019). Bu malzemeler arasında agregalar betonda önemli miktarda yer kaplar (Munir vd. , 2016; Munir vd. , 2018). Beton üretiminde agregaların yerini alacak malzemelerin geri dönüştürülmüş atık olması, atığa bağlı sorunların üstesinden gelmenin en iyi yolu olarak kabul edilmektedir (Bayraktar, 2020a; 2020b; Munir vd. , 2019, 2020). Bu bağlamda, atık beton ve atık lastik dahil olmak üzere iki tür atık oldukça araştırılmaktadır (Kazmi vd. , 2018, 2019a, 2019b; Wu vd. , 2020). Beton üretiminde atığın geri dönüştürülmesi çekici bir seçenek olsa da ortaya çıkan malzemenin düşük performansı, atığın pratik geri dönüşümünde önemli bir engeldir (Kazmi vd. , 2019a).

Dünya çapında her yıl yaklaşık 1 milyar ton atık lastik açığa çıkmaktadır (Mohajerani vd. , 2020; Wbcsd, 2008). Bu atık lastikler, parçalanmış lastik, kırıntı lastik ve öğütülmüş lastik şeklinde atık kauçuk üretmek için parçalanır (Al-Akhras ve Smadi, 2004; Wu vd. , 2020). Düşük performanslı beton, esas olarak kauçuğun elastik ve yumuşak yapısıyla ilgili olan atık lastiğinbetona dahil edilmesinden sonra üretilir (Jalal vd. , 2019; Li vd. , 2019a). Doğal iri agregaların kırıntı lastik parçacıkları ile tamamen değiştirilmesinden sonra betonun basınç dayanımı ve elastisite modülünde yaklaşık %85 ve %76 oranında azalmıştır (Aslani, 2016; Siddique ve Naik, 2004).

Araştırmacılar tarafından beton performansını iyileştirmek için kauçuk parçacıklarının kimyasal ve fiziksel işlemleri de dahil olmak üzere çeşitli teknikleri araştırmıştır (Li vd. , 2019b). Yine de normal agregalı betona benzer kauçuk beton özelliklerini elde etmek için literatürde böyle bir teknik mevcut değildir (Kazmi vd. , 2021).

Köpük beton veya gözenekli beton, hava boşluklarının yapay olarak harç içinde hapsedildiği bir harç veya çimento pastasıdır (Kaplan vd. , 2021). Düşük birim hacim ağırlığa, yüksek akışkanlığa, minimum agrega kullanımına, kontrollü düşük mukavemete ve mükemmel ısı yalıtım özelliklerine sahiptir. Yapısal, bölme, yalıtım ve dolgu sınıflarına uygulanmak üzere köpük dozajının uygun şekilde kontrol edilmesiyle çok çeşitli yoğunluklarda (400-1850 kg/m³) köpük beton elde edilebilir (Amran vd. , 2015; Raj vd. , 2019). Hafif ve daha ekonomik yapısı nedeniyle, inşaat sektöründe hafif ve yarı yapısal bir malzeme olarak uygulamaları giderek artan bir popülerlik kazanmaktadır (Shah vd. , 2021).

Son yıllarda köpük beton, dayanımın ana husus olmadığı yarı taşıyıcı ve taşıyıcı olmayanlar için giderek daha fazla kullanılmaktadır (Amran vd. , 2015). Bu nedenle, köpük beton, malzemelerin daha sürdürülebilir kullanımı için çimento ve kumun yerini almak üzere çok çeşitli türdeki atık malzemeleri dahil etmek için mükemmel bir yoldur. Atık malzemelerin köpük betonda kullanılması bu nedenle CO₂ emisyonu, doğal kaynak kullanımı ve inşaat endüstrisi aracılığıyla atık yönetimi ile ilgili sürdürülebilirlik ve çevresel sorunlarını ele almak için iyi bir seçenektir. Atık malzemelerin köpük beton teknolojisine dahil edilmesi için yapılan araştırmalara rağmen, bu konseptin uygulamada gerçekleştirilmesi henüz yaygın değildir (Shah vd. , 2021).

2. LİTERATÜR TARAMASI

Hem nüfus artışı, hem de kırsaldan kentsel alanlara göç, kent merkezlerinde yeni yerleşim alanlarının ve dolayısıyla da yeni binaların yapımını zorunlu kılmaktadır (Bayraktar vd . , 2019a; 2019b; Kilicoglu vd . , 2020). Yapılan binaların büyük bölümünün temel yapıtaşını beton oluşturmaktadır (Alterra vd . , 2019; Bayraktar, 2021). Çimento, agrega, su ve gerektiğinde bazı katkı malzemelerinin bir araya getirilmesiyle oluşan beton, çağımızda çok çeşitli yapılarda kullanılmaktadır (Aktürk, 2007; Bayraktar vd . , 2019c; 2019d; Kaplan vd . , 2021e). Çimento, beton maliyeti içerisinde önemli bir paya sahiptir. Bundan dolayı maliyetlerinin düşürülmesi için farklı katkı maddelerinin beton üretiminde çimento ikame maddesi olarak kullanılabilirliği, çok sayıda çalışmada ele alınmıştır (Alterra vd . , 2021; Bayraktar vd . , 2020c; 2020d; Chi vd . , 2019; Cho vd . , 2019; Li vd . , 2020).

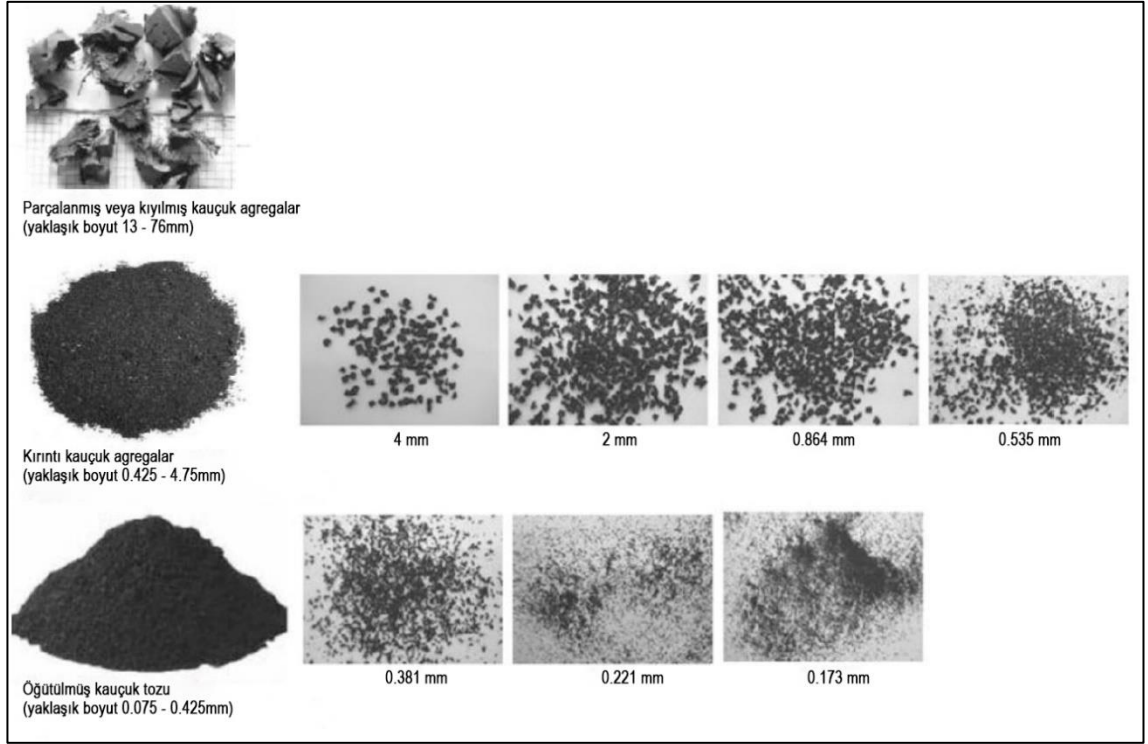
Beton içerisinde atık maddelerin kullanılması çevre açısından da büyük önem taşımaktadır. Çağımızın en önemli sorunlarından birisi çevre kirliliğidir (Cetin vd . , 2019a; 2019b; Isinkaralar vd . , 2015; Ozel vd . , 2021c; 2021d). Çevre kirliliği aynı zamanda ekosistemdeki bütün canlıları ve ekosistemin işleyişini de etkilemektedir. Çünkü canlıların bütün fenotipik karakterleri genetik yapıları (Hrivnak vd . , 2017; Imren vd . , 2021) ile çevre faktörlerinin (Ozkazanc vd . , 2019; Sevik vd . , 2021a; 2021b; Varol vd . , 2021) karşılıklı etkileşimi altında şekillenir. Çevre kirliliği canlı ve özellikle dünyadaki yaşamın temeli olan bitkilerin gelişimini önemli ölçüde etkiler. Çünkü çevre kirliliği önemli bir stres etmenidir (Sevik vd . , 2020c; Turkyilmaz vd . , 2019; 2020) ve stres faktörleri bitki gelişimini önemli ölçüde sekteye uğratmaktadır (Koc vd . , 2020d; 2021e; Ozel vd . , 2021e; Shults vd . , 2020). Geri dönüşümlü malzemelerin kullanımı aynı zamanda çevresel kirliliği önemli ölçüde azaltmaktadır (Bayraktar vd . , 2020c; 2020d; 2020e; 2020f; Kaplan ve Bayraktar, 2021). Bundan dolayı atık malzemelerin beton katkı maddesi olarak kullanımı hem ekonomik hem de ekolojik açıdan büyük önem taşımaktadır ve bu konuda çok sayıda çalışma yapılmıştır. Bu bölümde de atık lastiklerin beton katkı maddesi olarak kullanılması konusunda yapılan çalışmalar ile köpük betonun literatürdeki yeri incelenmiştir.

2.1 Atık Lastik

Genel olarak atık araç lastiklerinin değerlendirilmesi ve yönetimi yeniden kullanmak, malzeme olarak geri kazanmak, enerji olarak geri kazanmak, depolamak şeklinde yapılmaktadır. Atık araç lastiklerinin malzeme olarak geri kazanmanın da genel olarak dört farklı yöntemi mevcuttur. Bunlar parçalama, granüle etme, rejenere kauçuk üretimi için kullanma ve piroliz etme yöntemleridir (Devlet, 2020).

Ömrünü tamamlamış araç lastiklerini granüle etmek için önce janta değen damak kısmındaki çelik halatlar çekme makinelerinde çekilerek çıkartılır. Telleri çekilmiş lastikler iri parçalara ayrılır. Bu işlem için çift milli çelik bıçaklı parçalayıcı shredder makineleri kullanılır. İri parçalara ayrılan lastikler kırma değirmenlerinde daha küçük granül parçalara ayrılır. Bu aşamadan sonra manyetik ayırıcılar ile lastiğin metal kısmı tamamen ayrılır. Çeşitli boylarda eleme işlemi yapılarak kırım işlemi tamamlanır (Devlet, 2020).

Agrega olarak, sırasıyla Şekil 2.1’de verildiği gibi yaklaşık 13–76 mm, 0,425–4,75 mm ve 0,075–0,475 mm boyutlarında parçalanmış, kırıntı ve öğütülmüş lastik olarak sınıflandırılır (Hamdi vd. , 2021).



Şekil 2.1 Agregaların boyuta göre sınıflandırılması (Hamdi vd. , 2021)

2.1.1 Atık Lastik Sınıflandırması

Betonda agrega olarak kullanılabilen atık lastik, kauçuğun boyutuna göre sınıflandırılabilir. Temel olarak, Siddique ve Naik (2004) tarafından, öğütölmüş lastik ve kırıntı lastik başta olmak üzere beş lastik agrega sınıflandırması vardır. Atık lastik sınıflandırması Tablo 2.1 verilmiştir (Ganjian vd. , 2009).

Tablo 2.1 Lastik türlerinin betonda kullanımı (Sarkaz, 2020)

Türleri	Boyut	Üretim Yöntemi	Betondaki Uygulaması
Doğranmış / Ufalanmış	Doğranmış Uzunluk : 300 – 430 mm Genişlik : 100 – 150 mm	Birincil, ikincil veya her iki parçalama işlemi	Agrega yerine
Doğranmış / Ufalanmış	Dilimlenmiş Uzunluk : 100 – 230 mm Genişlik : 13 – 76 mm	Birincil, ikincil veya her iki parçalama işlemi	Agrega yerine
Kırıntı lastik	0,425 – 4,75 mm	Kıracak mil Granül Mikro mil	Kum yerine
Öğütölmüş lastik	0,0075 – 0,475 mm	Magnetik ayırışma Eleme	Çimento yerine
Lastik lif	Uzunluk : 8,5 – 21,5mm Şerit : ≤ 8 mm	Doğranmış lastiklerden	Güçlendirilmiş fiber olarak

2.1.2 Betonda Atık Lastik Kullanımı

Atık lastik kırıntıları inşaat teknolojisinde kullanımını açısından daha çok yol ve kaldırım yapımında yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak, bu yan ürünün harç/beton karışımı bileşeni olarak kullanılması 90'lı yılların başından beri devam etmektedir. Güncel olarak, dünya çapındaki araştırmacılar tarafından birçok başarılı sonuçları bildirilmiş ve faydalarının bazıları aşağı da özetlenmiştir (Sarkaz, 2020).

Avantajları

- Düşük birim ağırlık (hafif beton)
- Aşınmaya karşı yüksek direnç
- Yüksek süneklik
- Gevreklik artışı
- Yüksek elastikiyet, dayanıklılık ve esneklik
- Şokları ve titreşimi emme
- Çekmeyi ve çatlamayı iyileştirme
- Su geçirgenliğini azaltma
- Klor geçirgenliğini azaltma (Sarkaz, 2020)

Dezavantajları

- Düşük basınç dayanımı
- Düşük çekme dayanımı
- Düşük eğilme dayanımı (Sarkaz, 2020)

2.1.3 Atık Lastik İle Alakalı Yapılan Çalışmalar

Hu Peng'in öğütülmüş lastik betonda geçirgenlik testi yapmıştır, ikisi arasındaki yüksek sızdırmazlık, düşük mukavemet ve yeterli korelasyon bulunmuş ve mukavemetin azalmasıyla numunelerin geçirimsizliği azalmıştır (Hu, 2007).

Tianjin Üniversitesi'nden Profesör Zhu Han, öğütülmüş lastik katkılı dış duvar malzemesi üretmiştir. Öğütülmüş lastik betonunun çatlama, büzülme ve ısı yalıtımı açısından mükemmel özelliklerini deneylerle bulmuştur. Ayrıca Amerika Birleşik

Devletleri'nde dünyanın ilk öğütölmüş lastikli beton kaplamasını başarıyla tasarlamış ve inşa edilmiştir (Zhu vd. , 2002).

Eldin ve Senouci, betonun sağlamlığını ve tokluğunu, atık lastik yongalarının yerini alan agregaların bir kısmıyla araştırmıştır. Basınç dayanımı ve yarmada çekme dayanımının azaldığını, tokluğun önemli ölçüde arttığını gözlemlediler. Ayrıca malzemelerin mukavemet teorisi üzerinden lastik agrega katkılı betonların kırılma mekaniğine göre nitel bir açıklamasını sağladılar (Eldin ve Senouci, 1993).

Taha ve arkadaşları, mikro yapısal araştırmaya dayanarak, dayanımın önemli ölçüde azalmasının, atık lastik parçalarının yumuşak bir agrega olarak davranışına atfedebileceğini bildirmiştir. Toplam lastik içeriğini, parçacık büyüklüğünü ve özelliklerini, ayrıca karışım parametrelerini ve oranlarını etkilediği için betonun mukavemetinde azalma olmaktadır (Reda Taha vd. , 2008).

Kauçuk katkılı betonun düşük mekanik dayanıma sahip olduğu kabul edilen gerçeğinin aksine, Issa ve Salem geri dönüşümlü kırıntı lastik tarafından ince doğal agreganın %25'ine kadar değiştirilmesi durumunda oluşan basınç dayanımının kabul edilebilir sınırlar içinde kaldığını bildirmiştir (Záleská vd. , 2019).

Toutanji, en büyük boyutu 12.7 mm olan atık lastik parçacıkların betonun dayanımı üzerindeki etkisini incelemiştir, bu amaçla atık lastik agregası kaba agreganın hacimce %25, 50, 75 ve %100'ünü yer değiştirmiştir. Sonuçlar, %25 ve %100 atık lastik ikamesi için basınç dayanımının keskin bir şekilde sırasıyla %39 ve %76'ya düştüğünü, eğilme dayanımının ise sırasıyla %8 ve %37 oranında azaldığını göstermiştir (Toutanji, 1996).

Khatib ve Bayomy, betonda farklı yüzdeler ve ikamelerle ince ve kaba atık lastik parçacıkları kullanmıştır. Bulgular, %100'lük bir değişim için basınç dayanımının %90 oranında azaldığını ortaya koydu. Bu nedenle atık lastik içeriği pratik açıdan %20'den fazla olmamalıdır (Khatib ve Bayomy, 1999).

Ghaly ve Cahill IV, farklı su-çimento oranlarına (0,47; 0,54 ve 0,61) sahip betonda ince agregayı ince atık lastik agregası ile değiştirmiştir. Atık lastik parçacıklarının daha

düşük sertliği ve çimento pastası ile düşük aderansı nedeniyle atık lastik betonun basınç dayanımını azaltmıştır (Ghaly ve Cahill IV, 2005).

Khaloo ve arkadaşları beton karışımında iki tip atık lastik kullanmıştır. Sonuçlar, atık lastik agrega ikamesinin mukavemetleri keskin bir şekilde azalttığını göstermiştir. %25'i aşan atık lastik içeriğinin tavsiye edilmediği ve çimento hamuru ile atık lastik partikülleri arasındaki etkileşimi arttırmak için yüzey işleminin gerekli olduğu sonucuna varılmıştır (Khaloo vd. , 2008).

Sukontasukkul, atık lastik ikameli betonla ($S/B = 0.47$) deneysel çalışmalar yürütmüştür. Prekast beton panellerde ince agrega yerine iki boyutta (No.6 ve No.26) ve üç dozajda (ağırlıkça %10, 20 ve %30) atık lastik parçaları kullanılmıştır. Sonuçlar, %10 atık lastik değişiminin basınç ve eğilme mukavemetlerini sırasıyla %35 ve %28 oranında azalttığını göstermiştir (Sukontasukkul, 2009). Ayrıca, normal agrega atık lastik agregası ile değiştirildiğinde elastisite modülü azalmaktadır (Bušić vd. , 2018). Normal beton ve hafif beton için ACI 381-05 tarafından basınç dayanımı ve elastisite modülü arasında bir ilişki önerilmiştir (Code, 2005).

Habib ve arkadaşları (2020) ince agregayı ince atık lastik ile değiştirmiş ve numuneleri farklı yüksek sıcaklıklara (200, 400, 600, 800°C) maruz bırakmıştır. Atık lastiğin %5 ve %20 oranlarında kullanılması halinde, tüm yüksek sıcaklıklar için yaklaşık %20 ve %70 iken, oda sıcaklığındaki azalma sırasıyla %18,5 ve %57,8 olmuştur. Xie ve arkadaşları (2018) agrega yerine kırıntı atık lastik ve çelik lifler kullanmıştır, ayrıca puzolanik reaksiyon olarak reaksiyona girmek için silis dumanı eklemiştir. Silis dumanı, tüm atık lastik beton karışımları için elastisite modülünü arttırmıştır, ancak değerler referans karışımına ulaşmamıştır. Buna karşılık, atık lastik Ref. (Assaggaf vd. , 2021), çimentonun kısmi ikamesi olarak doğal bir zeolit eklenmesi (Jokar vd. , 2019) veya kalıptan çıkarmadan önce döküm sırasında kalıpta sıkıştırıldığında %20 atık lastik ikameli sıkıştırılmış atık lastik beton, normal agregalı betona kıyasla mukavemet ve elastik modülü sırasıyla yaklaşık %35 ve %29 oranında iyileştirmiştir (Wu vd. , 2020). Issa ve Salem (2013), betondaki ince agrega yerine kırıntı atık lastik kullanmıştır. Basınç dayanımı, sırasıyla %15 ve %100 atık lastik değişimleri için %18 ve %84 oranında düşüş görülmüştür.

Su geçirimsizlik özelliğinden dolayı yapılmış olan çalışmalarda su emme oranının %2 ile %4 arasında olduğu tespit edilmiş ve ısı iletkenlik katsayısının agregalardan daha düşük olduğu görülmüştür (Emiroğlu, 2006). Bu nedenle agregalardan daha iyi ısı yalıtığı söylenebilir.

Atık lastik agregası kullanılan beton karışımı ile hafif ve esnek yapı elemanları üretilebileceği ama atık lastik agregası ikameli betonun birim hacim ağırlığının daha az, basınç dayanımında düşüş olduğu yapılan çalışmalar sonucunda görülmüştür (Kaloush vd. , 2005; Nehdi ve Khan, 2001).

Farklı bazı çalışmalarda ise atık lastik agregaları incelenmiş ve atık lastik agregaların karakteristik özellikleri belirlenmiştir. Bu çalışmalarda atık lastik agregası ikameli betonların, statik ve tekrarlı yük altında, yüzey işlemleri uygulanarak atık lastik agregası testlere tabi tutmuşlardır. Uygulanan testler ile atık lastik agregaların yüzeylerinde pürüzler elde ederek aderans artışı sağlamayı, kırılma performansını gözlemlemeyi, ısı ve ses yalıtım özelliğini, donma çözülme hasarlarını, korozyon ve sülfat iyonlarına direncini araştırmışlardır (Güneyisi vd. , 2004; Hernández-Olivares vd. , 2002).

Emiroğlu tarafından yapılan araştırma kapsamında atık lastik agregaları ince öğütülmüş ya da kırıntı şeklinde kullanmıştır. Yapılan çalışmalarda lif şekilli atık lastik agregaların performanslarının kırıntı şekilli atık lastik agregalara oranla daha performanslı olduğu gözlemlenmiştir (Emiroğlu, 2006).

Topçu ve Avcular, çalışmalarında atık lastik agregası ikameli betonlarda, standart betona kıyasla darbe dayanımı davranışının daha iyi olduğunu göstermiştir (Topçu ve Avcular, 1997).

Khatib ve Bayomy, beton karışımlarında farklı boyutlu agrega yerine iki farklı boyutlu atık lastik agregası kullanmış ve atık lastik agregası kullanmanın beton basınç dayanımında düşüslere neden olduğunu ancak daha yüksek bir tokluk gösterdiğini gözlemlemişlerdir (Khatib ve Bayomy, 1999).

Li, beton karışımlarında atık lastik agregası kullanmış ve betonların sünek bir kırılma davranışı sergilediğini; basınç ve eğilme deneylerinde standart betona kıyasla iyi enerji ve titreşim emme kapasitesi sergilemiş olduğunu gözlemlemiştir (Li vd. , 1998).

Emiroğlu vd. , çimento ile agrega arasındaki aderans ve çimento ile atık lastik agregası arasındaki aderansı karşılaştırmışlardır. Atık lastik agreganın agregaya göre daha az aderans sağlaması, bundan dolayı basınç dayanımının azaldığını gözlemlemiştir (Emiroğlu vd. , 2008).

Segre ve Joekes, sodyum hidroksit çözeltisinde yüzey işlemi yaparak betonda atık lastik tozunu kullanmışlar ve ürettikleri atık lastik agregalı betonun basınç dayanımının ve tokluğunun arttığına dikkat çekmişlerdir (Segre ve Joekes, 2000).

Güneyisi atık lastik agregalı betonu silis dumanı ikameli ve ikamesiz numune olarak incelemiş ve mekanik özelliklerini saptamıştır. Çalışmalar silis dumanı kullanılmasının, atık lastik agregalarının neden olduğu basınç dayanım düşüşünü bir dereceye kadar önleyebileceğini göstermiştir (Güneyisi vd. , 2004).

Marl, asfalt karışımlarında atık lastik katkı maddeleri kullanılmakta ve geleneksel asfalt karışımlarına göre daha yüksek elastisite modülü sergiledikleri belirtilmektedir. Elastik davranış sonucunda sıcaklık değişimlerinden oluşabilecek bozulmalara karşı daha dirençli kaplamalar üretmenin mümkün olduğu gösterilmiştir (Marl, 1996).

Ayberk, hafif agregalar kullanılarak betonarme iskelet yapılarda üretilen hafif duvar bileşenlerinin inşaat maliyetlerine etkisini incelediğinde, hafif yapı malzemelerinin birim maliyetinin üretimleri nedeniyle diğer malzeme yöntemlerine göre daha yüksek olmasına rağmen olumlu olacağına inanmışlardır (Ayberk, 1986).

Öztütücü hafif agrega boyutunun, yarı hafif betonun donma direnci üzerindeki etkisini incelemiş ve hafif agrega boyutundaki artışın birim kısalmayı da azalttığını bulmuştur. Agregaya boyutu 5–13.5 mm'ye kadar arttıkça, elastisite modülü %11 azalmış, hafif agrega boyutu 20 mm olduğunda %6 artarak ortalama hafif agrega boyutu 10 mm olan karışımdaki değere ulaştığı sonucuna varılmıştır. 10 mm ve hafif agrega değeri

karışımdaki 2/8 mm'lik agrega boyutu don etkilerine karşı en büyük direnci gösterir (Öztütüncü, 1992).

Topçu ve Sarıdemir (2008), araştırmalarında, iki farklı beton karışımında atık araba lastikleri kullanarak yapılan deneyler de taze betonun birim ağırlığını ve yayılım değerini bulmuşlardır. Bulunan değer de yapay sinir ağı (YSA) ve bulanık mantık (BM) yöntemleri uygulanarak elde edilmektedir. Testte, kauçuk beton karışım bilgisi verildiğinde, deneye gerek kalmadan taze betonun performansını belirlemek için YSA ve BM yöntemlerinin kullanılabilceğini gözlemlemiştir. Testte YSA ve BM sonuçlarının deneysel sonuçlara yakın olduğu görülmüştür. Betonda lastik kullanımının bir nevi hafif malzeme olduğunu ve daha hafif beton elde edilebileceğini belirtmişlerdir.

Al-Akhras ve Smadi çalışmalarında, lastik cürufunun hava içeriği, basınç ve eğilme dayanımı ve Portland çimento harcının donma-çözülme üzerindeki etkisini incelediler. Otomobil lastik parçaları 72 saat 850°C'de tutularak cüruf haline getirilir. Harç karışımında kum ağırlıkça %2,5; %5; %7,5 ve %10 oranında azaltılmış ve yerine atık lastik cürufu koymuşlardır. Harçtaki cürufun, harcın hava içeriğinin donma-çözülme direncinin ve eğilme mukavemetinin arttığını söylediler (Al-Akhras ve Smadi, 2004).

Akın, atık lastik kullanımının polimer betonun performansı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bağlayıcı olarak doymamış polyester reçine, 0-1mm ve 0-4mm ince agrega ve 4-16 mm iri agrega ve atık lastikler %0, %5-%12 iki farklı çapta (0-1 mm ve 0-4 mm), ince agrega yerine %5-20 kullanılmıştır. Reçine (polyester)/dolgu oranı %15-85, %20-80, %25-75'tir. Üretilen numuneler 3, 7 ve 28 gün boyunca eğilme dayanımı, aşınma, ultrasonik geçirgenlik, Schmidt yüzey sertliği, gerilme-şekil değiştirme ilişkisi ve basınç dayanımı açısından test edilmiş ve sonuçlar değerlendirilmiştir. Sonuç olarak atık lastik oranı arttıkça sıkıştırma ve eğilme mukavemetleri azalırken süneklik ve işlenebilirlik artmıştır. Yüzey sertlik testi ile basınç dayanımı sonuçları ilişkilendirildiğinde, regresyon çizgisinin %96 benzer olduğu tespit edilmiştir (Akın, 2017).

Betonda agrega ikamesi olarak atık lastiklerden elde edilen kırıntı lastik (KL)'nin potansiyel değeri de bu atığın uygun şekilde geri dönüştürülmesine yönelik umut verici bir yaklaşımdır. Bazı çalışmalar, beton karışımlara KL eklenmesinin çoğu durumda basınç dayanımını, eğilme dayanımını, yarmada çekme dayanımını ve elastisite modülünü azalttığını bildirmiştir (Li vd. , 2019a; Li vd. , 2019b). Azevedo vd. (Azevedo vd. , 2012), KL yüzdesindeki artışın, basınç dayanımında ciddi bir kayıpla sonuçlandığını gözlemledi. Thomas vd. , (2015), taze atık lastikli betonun, normal betona kıyasla daha düşük birim ağırlık ve kabul edilebilir bir işlenebilirlik sergilediğini gözlemledi. Basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve elastisite modülünde önemli azalmalar fark edilmiştir. Wang vd. , (2020) atık lastik kullanılmış betonun basınç dayanımının kür yaşı ile arttığını bildirmiştir; ancak atık lastikli betonun daha sonraki kürlenme periyodundaki dayanım artışı normal betona göre daha azdır.

KL ilavesinin betonun dayanıklılığı üzerinde belirli bir etkisi vardır (Thomas ve Gupta, 2015; Yung vd. , 2013). KL değiştirme yüzdesinin artırılması betonun su emmesini artırır (Koushkbaghi vd. , 2019; Pham vd. , 2019). Pham vd. , (2019), ince ve iri agregaları KL ile değiştirdiğinde, daha gözenekli bir mikro yapının oluştuğunu, bu da çimento-agrega ara yüzeylerinin gözenekliliğini ve emme kabiliyetini artırdığını bildirmiştir. Thomas vd. (2015), doğal ince agregaların %0–20 KL ikamesi ile betonun karbonatlaşma derinliğini inceledi. Su-çimento oranı düşük (s/ç oranı 0,4 olan) atık lastikli betonun karbonatlaşma derinliği, KL miktarının artmasıyla önce azalır, sonra artar. Liu vd. , (2016), betonarme betonun mekanik ve dayanıklılık özellikleri üzerine deneysel bir araştırma yapmışlardır. Basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı ve elastisite modülü, artan KL içeriği yüzdesiyle azalırken, sülfat etkisine karşı direnci artar. Yung vd. , 0,3-0,6 mm boyut aralığındaki ince KL parçacıklarının eklenmesi %5-10'u geçmediğinde, atık lastikli betonun artan sülfat etkisine karşı direncini bildirmiştir (Yung vd. , 2013). Onuaguluchi ve Banthia, betona %10-15 oranında ince KL eklenmesinin harcın mikro boyutlu sıkışmış hava boşluğu içeriğini arttırdığını ve bu boşlukların korozyon ürünlerinin genleşme basıncını serbest bırakarak betonun sülfat saldırı direncini iyileştirdiğini belirtmişlerdir (Onuaguluchi ve Banthia, 2019).

Mekanik ve dayanıklılık özelliklerini iyileştirmek için, beton agregaları değiştirilmeden önce KL genellikle ön işleme tabi tutulur. Segre ve Joeques (2000),

KL'yi ön işleme tabi tutmak için asitle aşındırma, plazma ve birleştirme ajanlarını kullanmıştır. Liu vd. , (2016), sentetik reçine kullanılarak ön işleme tabi tutulmuş KL ile hazırlanan atık lastikli betonun basınç, yarma çekme ve eksenel basınç dayanımlarının sırasıyla %12, %40 ve %5 arttığını gözlemlemiştir. Birçok çalışma, KL agregaların NaOH çözeltisi ile işlenmesinin, KL partikülleri ve çimento bulamacı arasındaki yapışmayı iyileştirebileceğini ve böylece betonun performansını iyileştirebileceğini ortaya koymaktadır (Liu ve Zhang, 2015; Mohammadi vd. , 2016; Wang vd. , 2019). NaOH çözeltisi atık KL'nin yüzeyi ile temas ettiğinde, lastiğin organik bileşeni ile reaksiyona girer (Fernández-Ruiz vd. , 2018). KL'deki SiO₂ ayrıca bir alkali-silika reaksiyonu oluşturmak için güçlü bir alkali çözeltisi ile reaksiyona girebilir. Bu reaksiyonlar, KL ve macun arasındaki bağ özelliklerini geliştirebilecek şekilde KL'nin yüzeyini pürüzlendirir. Ek olarak, NaOH çözelti işlemi, KL partikülleri etrafında zayıf alkali koşullar sağlayabilir ve KL çevresindeki çimentonun hidrasyon performansı, işlenmiş KL'yi çimento betonuna ekleyerek geliştirilebilir. NaOH çözeltisi muamelesi, KL agregasının hidrofiliğini iyileştirir ve KL partikülleri ile çimento macunu arasındaki ara yüzeyin gözenekliliğini azaltır (Guo vd. , 2017), KL ile çimento arasındaki bağı iyileştirir (Jokar vd. , 2019). Bu nedenle, NaOH-çözelti ile işlenmiş KL'den yapılmış betonun sülfat saldırı direnci incelenmelidir.

Beton bilimi ve mühendislik topluluklarında KL'nin geri dönüştürülmüş agrega betonun mekanik ve dayanıklılık özellikleri üzerindeki etkisi üzerine araştırmalar yapılmıştır (Hossain vd. , 2019; Xie vd. , 2018). Hossain vd. , (2019) beton karışımlarında artan RCA ve KL seviyeleri ile yarmada çekme dayanımının azaldığı sonucuna varmıştır. Xie vd. , (2018) geri dönüştürülmüş agregalı beton numunelerinin basınç dayanımının ve elastisite modülünün KL içeriğindeki artışla azaldığını gözlemlemiştir. Tamana vd. , (2020), atık lastikli betonun, doğal agregalı betona kıyasla, basınç ve eğilme etkisi altında normalize edilmiş gerinim kapasitesi açısından geliştirilmiş malzeme davranışı sergilediğini bulmuşlardır. Liu ve ark. (2015) betona RCA ve KL ilavesinin betonun yorulma ömrünü önemli ölçüde artırdığını bildirdi. Saberian ve Li (2021), geri dönüştürülmüş agregalı betona KL eklenmesinin betonun donma-çözülme bozulmalarına karşı direncini artırdığını bildirmiştir. Bununla birlikte, yazarın bildiği kadarıyla, NaOH-çözelti ile muamele edilmiş KL

içeren geri dönüştürülmüş agregalı betonun sülfat saldırı direnci üzerine araştırma hala sınırlıdır.

“Ömrünü tamamlamış lastiklerin” (ÖTL) geri dönüşümü, büyük hacimli üretimleri ve biyolojik olarak parçalanamayan özellikleri nedeniyle bilim camiası ve çevre kuruluşları tarafından paylaşılan en büyük endişelerden biridir. Dünyada her yıl yaklaşık bir milyar ömrünü tamamlamış lastik üretildiği tahmin edilmektedir (Mouri, 2016). Bunların %50'si geri dönüştürülmekte ve geri kalanı da düzenli depolama alanlarının bir parçasını oluşturmaktadır (Thomas vd. , 2016). Bunlar, yalnızca düzenli depolama alanlarındaki değerli alanları tüketmekle kalmaz, aynı zamanda kazara yangın tehlikesi, toksik maddelerin toprağa sızması ve sivrisinekler için üreme alanı görevi görür. Bu nedenle, dünyanın dört bir yanındaki hükümetler, kullanım oranlarını iyileştirmek için ÖTL'nin geri dönüşümünü teşvik etmek için planlar ve düzenlemeler getiriyor. ÖTL kullanımına ilişkin kapsamlı araştırmalarla çeşitli uygulamalar keşfedilmiştir. Bunlar şunları içerir: ÖTL'nin yeniden işlenmesi; kauçuk kalıplı ürünlerin imalatı; yakıt olarak kullanılacak karbon karası ve petrol/gaz üretmek için lastik pirolizi; çimento fırınlarında alternatif yakıt olarak kullanılması; yollarda ve toprak setlerde zemin altı dolgu gibi jeoteknik uygulamalarda; kauçukla modifiye edilmiş asfalt kaplamalarda ve betondaki agregaların kısmen değiştirilmesi olarak (Pehlken ve Essadiqi, 2005)

Atık lastik kauçuğunun kullanımı, ince ve kaba agrega ikame malzemesi olarak büyük potansiyel sağlamasına rağmen, çimento matrisi içindeki bağ davranışının performansında önemli bir zorluk teşkil etmektedir (Thomas vd. , 2014). Kauçuk parçacıklarının çimento hamuru ile zayıf bağlanma performansı, mekanik (Thomas vd. , 2016) ve potansiyel olarak dayanıklılık özelliklerinde önemli bir azalma ile sonuçlanır (Benazzouk vd. , 2003; Thomas ve Gupta, 2015). Bu zorluğun üstesinden gelmek için araştırmacılar, kauçuk parçacıklarının bağlanma performansını iyileştirmenin ve kauçuk betonun mekanik ve dayanıklılık özelliklerini iyileştirmenin çeşitli yollarını aradılar.

Geçmişte bazı kauçuk işleme yöntemlerinin mekanik ve dayanıklılık özellikleri üzerindeki etkisini ele alan birkaç inceleme makalesi yayınlanmış olmasına rağmen,

bunlar şimdiki kadar çalışılan tüm işleme yöntemlerini ve tüm mekanik ve dayanıklılık özelliklerini kapsamamaktadır (Siddique ve Naik, 2004; Strukar vd. , 2019).

Kauçuk tozu ve çimento esaslı malzemeler arasındaki zayıf arayüzey bağlantısı, kauçuk tozu ve çimento matrisi arasındaki anormal arayüz, arayüzey-geçiş bölgesinin gevşek yapısı vb. gibi çeşitli zorluklara sahiptir. Sonuç olarak, eklenen kauçuk tozu varlığında, eğilme mukavemeti ve çimento esaslı malzemelerin basınç dayanımı azalır. Kauçuk tozunun çimento esaslı malzemelerin mukavemeti üzerindeki olumsuz etkilerini en aza indirmek için, hidrofilikliğini ve polaritesini iyileştirmek ve çimento esaslı malzemelerle ara yüzey yapışmasını geliştirmek için kauçuk tozu değiştirilebilir. Böylece, büzümeye karşı direnç üzerindeki olumlu etki ve mukavemet üzerindeki olumsuz etki, mikro çatlak oluşumunu azaltmak ve mekanik özelliklerini iyileştirmek için dengelenebilir. Şu anda, çimento esaslı malzemelere uygulanan kauçuk tozunun modifikasyonu kapsamlı bir şekilde araştırılmaktadır. Liu vd. , (2020) kauçuk tozunu 100°C'de yüksek kesmeli çift vidalı ekstrüder ile mekanik kimyasal olarak modifiye etmek için kullanmayı denedi. Elde ettikleri sonuçlar, modifikasyonun, yüksek kesme ve kimyasal modifikasyon altında çapraz bağlamayı azaltırken, kauçuk tozunun yüzey aktivitesini iyileştirdiğini gösterdi.

Yu vd. , (2010), sol-jel yöntemiyle TRP ve ATRP olarak adlandırılan iki çeşit hibrit modifiye kauçuk tozu hazırladı ve çimento harcında kullanıldı. Yük-sehim eğrileri, ATRP ile kauçukla muamele edilmiş harcın gerilim tepe noktasının arttığını, bu da yüksek sıkıştırma deformasyonu ve tokluğu gösterdiğini göstermiştir. Liu (2017) kauçuk tozunu modifiye etmek için Sipan 40, katyonik yüzey aktif madde Sodyum Dikloroizosiyanat (SD) ve farklı NaOH konsantrasyonlarına sahip üç alkali solüsyon kullanmıştır. Çimento esaslı malzemelerin taşıma gücündeki değişimler 3, 7, 14 ve 28 gün sonra incelenmiştir. Sonuçlar, en etkili modifikasyon yönteminin önce %5 NaOH çözeltisinin kullanılması ve ardından kauçuk tozunu işlemek için Sipan 40'ın kullanılması olduğunu gösterdi. Ding ve ark., bir ışığa duyarlılaştırıcı olarak difenil ketonu (BP) ve kauçuk tozunun yüzeyinde katı faz ultraviyole (UV) ile indüklenen aşılama yöntemiyle aşılansız maleik anhidrit (MAH) monomerini kullandı (Ding vd. , 2011). MAH monomer konsantrasyonu, aydınlatma süresi, ışığa duyarlılaştırıcı

konsantrasyonu vb. faktörlerin aşılama hızı üzerindeki etkileri değerlendirildi. Sonuçlar, MAH monomer konsantrasyonu %8, ışığa duyarlılaştırıcı konsantrasyonu %9, aydınlatma süresi 4 dakika ve kauçuk tozunun partikül boyutu 100 meş olduğunda MAH'ın kauçuk tozu yüzeyinde aşılama oranının en yüksek olduğunu gösterdi. Lei vd. , (2014), sol-jel yöntemini kullanarak kauçuk tozunu modifiye etmek için bir silikon kaynağı olarak etil ortosilikatı seçmiş ve farklı koşullar altında modifiye edilmiş kauçuk tozunun etkinliğini araştırmıştır. Kauçuk tozunun modifikasyonu için en uygun koşulların şunlar olduğunu bulmuşlardır: etil ortosilikat-kauçuk tozunun kütle oranı 1:2 ve reaksiyon süresi 6 saattir. Modifikasyondan sonra, kauçuk tozunun yüzeyinde ortalama temas açısını azaltan ve kauçuk tozunun hidrofilikliğini artıran bir SiO₂ ağ yapısı tabakası oluşturulmuştur. Zheng vd. , (2014), modifiye kauçuk tozunun çimento harcı performansı üzerindeki etkisini araştırdı. NaOH ve MAH ile modifiye edilen 28. günde kauçuk tozu çimento harcının eğilme mukavemetlerinin sırasıyla %11,4 ve %5,0 arttığını ve bu da çimento harcının esnekliğindeki iyileşmeyi gösterdiğini bulmuşlardır. He vd. ve Segre vd. sülfonatlı-üre formaldehit reçinesi ve NaOH çözeltisi ile modifiye edilmiş kauçuk tozunun fiziksel yapılarını ve kimyasal fonksiyonlarını değerlendirdi (He vd. , 2021; Segre vd. , 2002). Ayrıca kauçuk dolgulu çimento esaslı malzemelerin özellikleri araştırılmıştır. Kauçuk tozu ve çimento esaslı malzemeler arasındaki ara yüzeyin bağlanma mukavemetinin, sülfonatlı-üre formaldehit reçinesi ile önemli ölçüde iyileştirildiği ortaya çıktı. Ek olarak, kauçuk tozunun doymuş NaOH solüsyonu ile işlenmesinden sonra kauçuk tozunun yüzeyindeki çinko stearat kısmen çıkarıldı. Eri vd. , (2015), kauçuk tozunu modifiye etmek için sorbitan monopalmitat Sipan 40'ı kullandı. Sonuçlar, modifikasyondan sonra, kauçuk tozunun hidrofilikliğin önemli ölçüde iyileştirildiğini ve çimento harcı numunelerinin basınç dayanımını ve eğilme dayanımını arttırdığını gösterdi. Onuaguluchi (2015), atık lastikli çimento harcının performansını artırmak için kireçtaşı tozu (LP) önceden kaplanmış kırıntı kauçuğu ve silis dumanı (SF) kullanan iki aşamalı bir yaklaşımın etkinliğini değerlendirdi. Artan kırıntı kauçuk-çimento macunu arayüzünün ve matris yoğunlaşmasının artan mukavemetin ana nedenleri olduğu ortaya çıktı. Ayrıca, karışımlara kırıntı kauçuğun eklenmesi, atık lastikli harcın emiciliğini azaltmıştır. Muñoz-Sánchez vd. , (2016), agregaların ikamesi olarak kauçuk parçacıkları kullanarak çimentolu malzemelerin performansını iyileştirmeye çalıştı. Çalışmalarında CH₃COOH ve Ca(OH)₂ çözeltileri ile işlem görmemiş ve işlem

görmemiş iki tip kauçuk partikülü kullanılmıştır. Karşılaştırıldığında, agregaların işlenmiş kauçuk parçacıkları ile kısmi ikamesi, atık lastikli harçların eğilme ve basınç dayanımında daha yüksek özelliklerine katkıda bulunmuştur.

Kauçuk tozunun modifikasyonu konusunda önemli çalışmalar yapılmış olmasına rağmen; ancak, daha iyi öneriler sağlamak için sistematik sınıflandırma ve çeşitli modifikasyon yöntemlerinin karşılaştırılması konusunda araştırma eksikliği vardır. Ek olarak, kauçuk tozunun hidrofilik güçlendirme mekanizmasını daha fazla incelemek uygundur. Bunlardan hareketle, bu çalışmada çimento esaslı malzemelere uygulanan kauçuk tozunun yüzey aktivasyonu üzerine farklı modifikasyon yöntemlerinin etkileri derinlemesine araştırılmış ve mikro ve nano teknolojiler ile karşılaştırılmıştır.

Güneyisi (2010), ince agrega olarak atık lastik kullanılmasının betonun priz süresini ve viskozitesini uzattığını açıklamıştır. Uçucu kül kullanımı, atık lastiğin olumsuz etkisini azaltmaya ve betonun viskozitesini düşürmeye yardımcı olmuştur. Issa ve Salem (2013) geri dönüştürülmüş lastiğin betonda ince agrega olarak kullanımı üzerinde çalışmıştır. İnce agrega yerine %25'ten daha az değişim için iyi bir basınç dayanımı kaydederken, %25'in üzerinde büyük bir düşüş fark edildi. %25 atık lastik içeren numunelerde beton yoğunluğunda %8'e yakın azalma görülmüştür. Dong vd. , (2013) atık lastik uygulanmış betonun basınç ve yarmada çekme dayanımının, atık lastik kullanılmamış betona göre %10-20 arttığını açıklamıştır. Atık lastik ikameli beton ile atık lastiksiz betonun klorür iyonu direnci hemen hemen benzerdir. Atık lastik ikameli betonun enerji emme kapasitesi gelişme göstermiştir.

2.2 Köpük Beton

Köpük beton, köpük ajanı ilavesi ile oluşturulan homojen ve gözenekli yapıya sahip dolgu harcı olarak bilinen hafif bir materyaldir (Nambiar ve Ramamurthy, 2007). Köpük beton, uygun bir köpük ajanı kullanımı ve hava boşluklarının harç içinde homojen bir dağılım gösterecek şekilde tutulduğu, yüksek akışkanlık, düşük yoğunluk, minimum agrega tüketimi, kontrollü düşük dayanım ve çok iyi ısı yalıtım özelliklerini barındıran bir hafif beton cinsi olarak tanımlanmaktadır (Yanardağ, 2020).

Yapısal, bölme, yalıtım ve dolgu sınıflarına uygulanmak üzere köpük dozajının uygun şekilde kontrol edilmesiyle çok çeşitli yoğunluklarda (400-1850 kg/m³) köpük beton elde edilebilir (Amran vd. , 2015; Raj vd. , 2019).

Çimento esaslı hücreli bileşikler atık malzemenin içinde havanın üç farklı şekilde oluşturulmasıyla üretiliyor. Bunlar: büyük miktarlarda hava tutan güçlü maddelerin eklenmesiyle, karıştırma işlemi esnasında gaz kabarcıklarını açığa çıkartan kimyasal katkı maddeleri vasıtasıyla veya köpük ajanlarının eklenmesiyle sağlanıyor (Ören ve Gençel, 2017).

Kararlı köpük beton karışımı üretiminin kullanılan köpük ajanı özellikleri ve miktarına, köpük üretim yöntemine, hava boşluğu dağılımının homojenliğine, uygulanan karışım yöntemlerine ve diğer birçok etkene bağlı olmasından dolayı sabit bir oranda standart karışım hazırlama yöntemi bulunmamaktadır (Ramamurthy vd. , 2009).

2.2.1 Köpük Ajanı

Köpük ajanı, beton harcının içerisine hava sürüklemek amacıyla köpük kabarcıklarının elde edilmesini sağlayan köpüğün ana malzemesidir (Bayraktar, 2020d). Köpük ajanı, içerdiği 1-2 mm boyutlarındaki hava kabarcıkları sayesinde farklı yoğunluklarda ve yalıtım özelliklerinde beton harç üretimi gerçekleştirmektedir (Ersoy, 2020; Tuzlak, 2017).

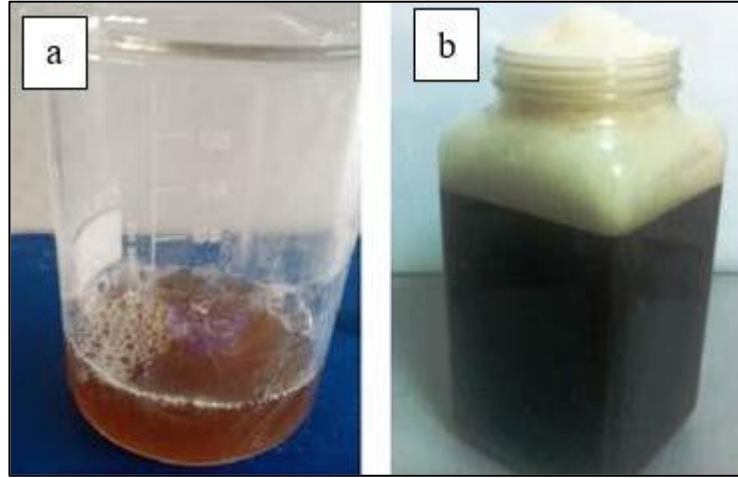
Köpük ajanları, beton üretiminde iki farklı yöntemle kullanılmaktadır. Birinci yöntemde köpük ajanında elde edilen köpük, harca ilave edilerek beton üretimi yapılmaktadır. Diğer yöntemde ise köpük ajanı harca, harç yapım esnasında ilave edilip köpük oluşturulmaktadır (Nambiar ve Ramamurthy, 2007; Ören,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

Köpük ajanlarının organik ve sentetik olmak üzere iki çeşidi bulunmaktadır.

- Organik ajanlar
- Bitkisel esaslı
- Reçine esaslı

- Protein (Kan, Keratin vb.) esaslı olmak üzere üç türü bulunmaktadır.
- Sentetik ajanlar
- Kimyada deterjan olarak kullanılan kimyasal maddelerden üretilen çözücü esaslı ajanlardır (Ersoy, 2020; Tuzlak, 2017).

Şekil 2.2’de protein ve sentetik bazlı köpük ajanları gösterilmiştir. Protein bazlı köpüğün özünde rafine edilmiş hayvansal ürünler vardır. Öte yandan, sentetik köpük amin ve amin oksit, naftalin sülfonat formaldehit vb. meydana gelir. Bu ürünlerden bazıları çevreye zararlı bir veya daha fazla madde içerebilir. Bu nedenle, bu ürünleri kullanırken, özellikle formaldehit kondensat bazlı ürünler kullanırken çok dikkatli olunmalıdır (Ören ve Gençel, 2017).



Şekil 2.2 Köpük ajanları, (a) protein bazlı köpük ajanı, (b) sentetik köpük ajanı (Ören ve Gençel, 2017)

2.2.2 Köpük Betonun Özellikleri Ve Kullanım Alanları

Köpük beton, yapısında bulunan boşluk miktarına bağlı olarak yoğunluğunda değişiklikler göstermektedir (Bayraktar vd. , 2021). 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).

Yoğunluğuna ve kullanım alanlarına göre sınıflandırılarak Tablo 2.2’de verilmiştir (Bekaroğlu, 2012).

Tablo 2.2 Köpük beton yoğunlukları ve kullanım alanları (Bekaroğlu, 2012).

Yoğunluk kg/m ³	Kullanım Alanları
400-600 kg/m ³	Isı ve ses yalıtımı (Tavan ve yer döşemesi)
600-900 kg/m ³	Blok ve panel üretimi
900-1200 kg/m ³	Dış ve ana duvar, blok ve panel üretimi
1200-1600 kg/m ³	Taşıyıcı zellikli duvar, blok ve panel retimi

Köpük betonun kullanım alanları;

- Isı yalıtımlı hafif beton retiminde
- Isı yalıtımlı hafif tuğla, blok tuğla, bims ve duvar panel retiminde
- Isı ve ses yalıtımlı şap üretiminde
- Çimento ve alçı esaslı hafif plaka retiminde
- Isı yalıtımlı hafif kiremit ve seramik retiminde
- 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 retiminde
- Perlitli sıva ve perlitli hafif beton retiminde
- Prefabrik bina üretiminde kullanılır (Bekaroğlu, 2012).

2.2.3 Köpük Beton Ve Atık Lastik İle Alakalı Yapılan alışmalar

Kadir vd. , (2017) köpük betonda kauçuk tozu atığını çimentoda %0, %3, %6 ve %9 oranında kullandı ve basınç dayanımının 12,7 MPa’dan 28,3 MPa’ya düzenli olarak arttığını bulmuştur. Bunun yanı sıra, toksisite özelliği özütleme prosedürü sonuçları, %9’a kadar kauçuk tozu atığı içeren köpük betonun, izin verilen maksimum ağır metal konsantrasyon sınırlarına uyduğunu doğrulamıştır.

3. MATERYAL METOD

3.1 Materyal

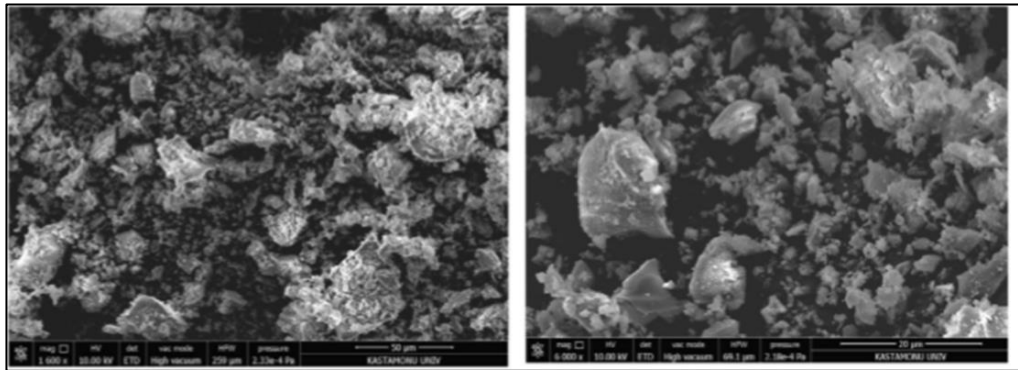
3.1.1 Bağlayıcı Malzemeler

Tüm karışımlar için bağlayıcı malzeme olarak CEM I 42,5 R (PC) tipi Portland Çimentosu ve 22.150 (m²/kg) BET özgül yüzey alanına sahip silis dumanı (SD) kullanılmıştır. Bağlayıcıların özellikleri Tablo 3.1’de gösterilmektedir. Silis dumanına ait SEM ve XRD görüntüleri Şekil 3.1’de gösterilmiştir.

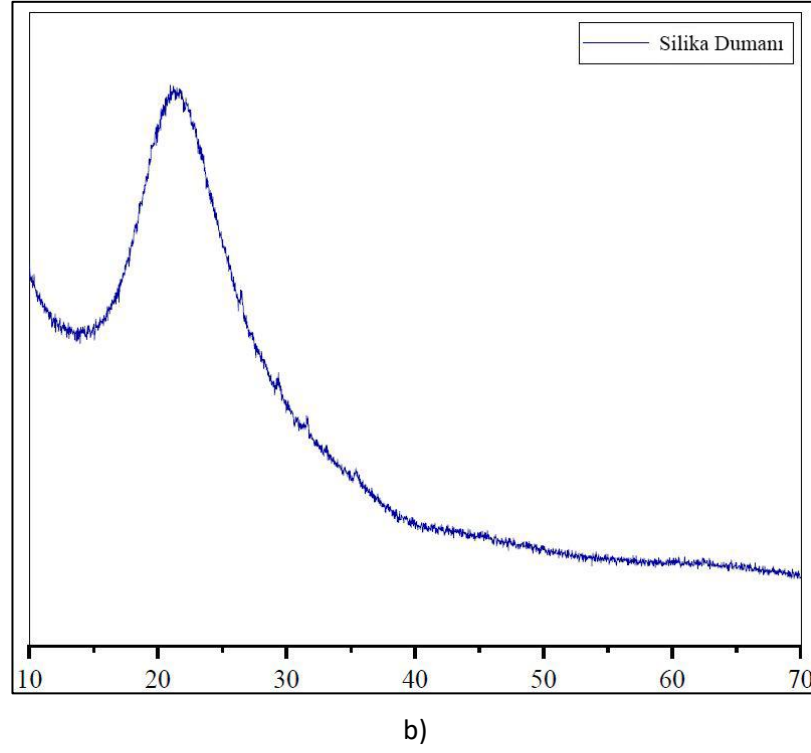
Tablo 3.1 PC ve SD özellikleri

Oksitler (%)	PC	SD
CaO	63,48	-
SiO ₂	18,93	94,8
Al ₂ O ₃	5,22	0,68
Fe ₂ O ₃	3,42	0,34
MgO	1,76	0,82
SO ₃	2,69	0,56
Na ₂ O	0,45	0,63
K ₂ O	0,71	1,41
Özgül ağırlık	3,14	2,19
BET yüzey alanı (m ² /g)	3400*	22,150
2 Günlük basınç dayanımı (MPa)	28,9	
28 Günlük basınç dayanımı (MPa)	51,1	

* Blain (cm²/g)



a)



Şekil 3.1 Silis dumanına ait a) SEM görüntüleri b) XRD örneği

3.1.2 Köpük Ajanı

Köpük, enzim bazlı bir kimyasal kullanılarak laboratuvarında hazırlanmıştır. Köpük ajanı ASTM C 869 standartına uygun olarak 1.03 kg/l yoğunluğa sahiptir (ASTM C869, 2016).

3.1.3 Atık Lastik Kauçuğu Agregası

Bu çalışmada, partikül boyutları 0-1mm arasında değişen ve 0.59 g/cm^3 özgül ağırlığa sahip atık lastik kauçuk agregaları hacimce kumun %100 ikamesi olarak kullanılmıştır.

3.1.4 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 kür de kullanılan suyun özellikleri

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

3.2 Metod

3.2.1 Karışım Oranları Ve Numune Hazırlama

PC, ağırlıkça %0 ve 20 oranında SD ile değiştirilmiştir. Toplam 300, 400 ve 500 kg/m³ bağlayıcı ve 0,75 su/bağlayıcı oranı kullanılmıştır. Köpük beton tasarımı Tablo 3.3'de gösterildiği gibi yapılmıştır. Karışımların hazırlanmasında kullanılan mikserin karıştırma hızı 140 ile 285 rpm arasında değişmektedir. Kuru karışım karıştırılırken düşük hızda (140 rpm), yaş karışım yüksek hızda (285 rpm) karıştırılmıştır. Çimento, SD ve atık lastik agregası 1 dakika boyunca karıştırılmıştır. Su ilave edildikten sonra pasta elde etmek için 2,5 dakika daha karıştırılmıştır. Daha sonra köpük, suya %2 köpük ajanı eklenerek elde edilmiştir. Elde edilen köpük ajanı daha sonra pastaya ilave edilmiştir ve 2,5 dakika sonra plastik köpük beton elde etmek için karıştırılmıştır. Taze köpük beton karışımı yayılma çapı ölçülerek ilgili testleri gerçekleştirmek için kalıplanmıştır. Köpük betonlar kalıptan 24 saat sonra sökülüp 28 gün boyunca 20°C suda kürlenmeye bırakılmıştır.

Tablo 3.3 Karışım oranları (kg/m³)

Karışım Kodu	SD (%)	Köpük	PC	SD	ALKA	Su	S/B	
SD0C3K20	0	20	300	0	318,2	225	0,75	
SD0C4K20			400	0	259,3	300	0,75	
SD0C5K20			500	0	200,3	375	0,75	
SD0C3K40		40	40	300	0	263,2	225	0,75
SD0C4K40				400	0	204,3	300	0,75
SD0C5K40				500	0	145,3	375	0,75
SD0C3K60		60	60	300	0	208,2	225	0,75
SD0C4K60				400	0	149,3	300	0,75
SD0C5K60				500	0	90,3	375	0,75
SD20C3F20		20	20	300	60	313,8	225	0,75
SD20C4F20				400	80	253,4	300	0,75
SD20C5F20				500	100	193,0	375	0,75
SD20C3F40	40		40	300	60	258,8	225	0,75
SD20C4F40				400	80	198,4	300	0,75
SD20C5F40				500	100	138,0	375	0,75
SD20C3F60	60		60	300	60	203,8	225	0,75
SD20C4F60				400	80	143,4	300	0,75
SD20C5F60				500	100	83,0	375	0,75

3.2.2 Testler

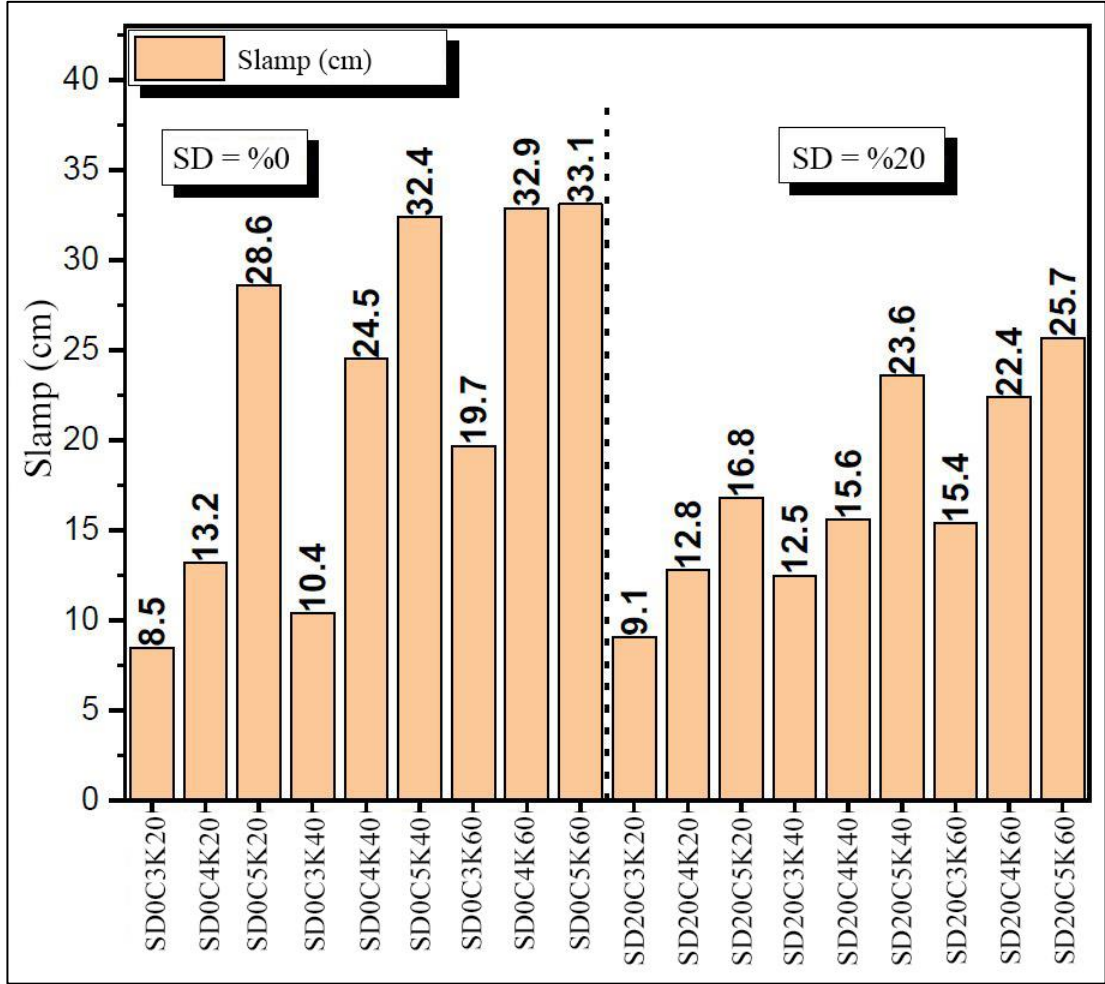
Tüm karışımlar için çimento içeriği, köpük içeriği ve SD'nin taze betonun işlenebilirliğini ölçmek için yayılma testi, ASTM C 1437-15'e göre yapılmıştır (ASTM C1437, 2015). Köpük betonların tüm testleri 3 numune üzerinde yapılmıştır. 50*50*50 mm numuneler üzerinde ASTM C 642 standartına uygun olarak 28 gün su kürünün ardından su emme, porozite ve birim hacim ağırlık özellikleri belirlenmiştir. 40*40*160 mm'lik numuneler, 7 ve 28.günlerde ASTM C 348-19 standartına uygun olarak 3 adet numune ile eğilme testi ve ASTM C 349-18 standartında uygun olarak eğilme testi sonrası ortadan bölünmüş 6 adet numune ile basınç testi uygulanmıştır (ASTM C348, 2019). Kapilerite testi ASTM C 1585-20 standartına uygun olarak 50 mm küp numuneler ile 28. güne kadar ölçülmüştür (ASTM C1585, 2020). 20*50*100 mm boyutlarındaki numuneler ile ASTM D 7984-16 standartına uygun olarak bir iletkenlik analiz cihazında ısı iletkenliği ölçülmüştür (ASTM D7984, 2016). 25*25*285 mm'lik numuneler ile köpük betonların kuruma büzülmesini belirlemek için ASTM C 596 (42) standartına uygun olarak 90 güne kadar ölçülmüştür. Donma-çözülme testi için 40*40*160 mm'lik numuneler ASTM C 666-97 standartına göre 30

ve 60 d6ngü donma özölme testi uygulanmıştır (ASTM C 666, 2015). Test sonrasında ASTM C 597-02 standartında uygun olarak UGH değişimleri ve ağırlık kayıpları sonrasında ise eğilme-basınç dayanımı farkları çıkarılmıştır (ASTM C597, 2003). Asit saldırısı testi ASTM C 267-97 standartına göre %3'lük bir sülfürik asit konsantrasyonunda toplam 56 günlük süre ile ölçölmüştür (ASTM C 267, 1997). Yüzey aşınma testi ASTM C 944 standartına göre 100*100*100 mm küp numuneler ile ölçölmüştür (ASTM C944, 2019).

4. SONUÇ VE TARTIŞMALAR

4.1 Köpük Betonun Taze Hal Özellikleri

Farklı köpük, çimento ve SD içeren karışımların yayılma değerleri Şekil 4.1’de gösterilmiştir. Harç veya betonlarda ALKA’nın agrega olarak dahil edilmesi atık lastik agregası ve karışımın diğer bileşenleri arasında meydana gelen daha yüksek sürtünme seviyesinden dolayı pek çok çalışma tarafından raporlandığı gibi plastik karışımın birim ağırlığının azalmasının yanında yayılma değerlerini de azaltmıştır (Eltayeb vd. , 2020; Güneysi vd. , 2004; Pacheco-Torgal vd. , 2012). Daha yüksek kauçuk içeriğinin işlenebilirliği azalttığı ve %50 kauçuk içeriğinin yayılmayı sıfıra indirdiği raporlanmıştır (Pacheco-Torgal vd. , 2012). Güneysi vd. , (2004) SD, kauçuk ve lastik parçacıkları içeren betonların kauçuk içeriğinin artırılmasının işlenebilirliği azalttığını ve %50 kauçuk içeriğinde yayılma yapmadığını raporlamıştır. Güneysi vd. , (2004) ayrıca S/B’nin azalmasının yayılma değerini azalttığını ve SD içeriğinin işlenebilirliği olumsuz etkilediğini göstermişlerdir. SD’sız karışımların yayılma değerleri 8,5 cm ile 33,1 cm arasında farklı değerlerde ölçülmüştür. 300 kg/m³ çimento içeriği ve 20 kg/m³ köpük içeriği en düşük yayılma değerine sahiptir. Çimento dozajının ve köpük içeriğinin artması yayılma çapını Şekil 2’de görüldüğü gibi belirgin bir şekilde arttırmıştır. Köpük içeriğinin artması daha düşük katı içerik ve daha yüksek porozite ile sonuçlanmıştır. Böylece yayılma olumlu bir şekilde etkilenmiştir. Çimento içeriğinin artması daha düşük ALKA ve daha yüksek su içeriği ile sonuçlanmıştır ve böylece yayılmayı etkili bir şekilde arttırmıştır. 300 kg/m³’den 500 kg/m³’e çimento içeriğinin artışından dolayı SD’sız karışımların yayılma artışı 20,40 ve 60 kg/m³ köpük içeriğinde sırasıyla %236,47; 211,53 ve 68,02 olmuştur. SD içeren karışımların yayılma çapları 9,1 cm’den 25,7cm’ye çeşitlenmiştir. SD’lı karışımların yayılma çapları SD içermeyen karışımlar ile karşılaştırıldığında daha yüksek özgül yüzey alanı ve yüksek incelik ve PC’den daha düşük SD yoğunluğu sebebi ile düşük kalmıştır (Ling vd. , 2018). 300 kg/m³’den 500 kg/m³’e çimento içeriğinin artışından dolayı SD’lı karışımların yayılma artışları 20,40 ve 60 kg/m³ köpük içeriğinde sırasıyla %84,61; 88,8 ve 66,88 olmuştur. Bu sonuçlar karışımların işlenebilirliği üzerine SD’nın olumsuz etkisi olduğunu göstermektedir.

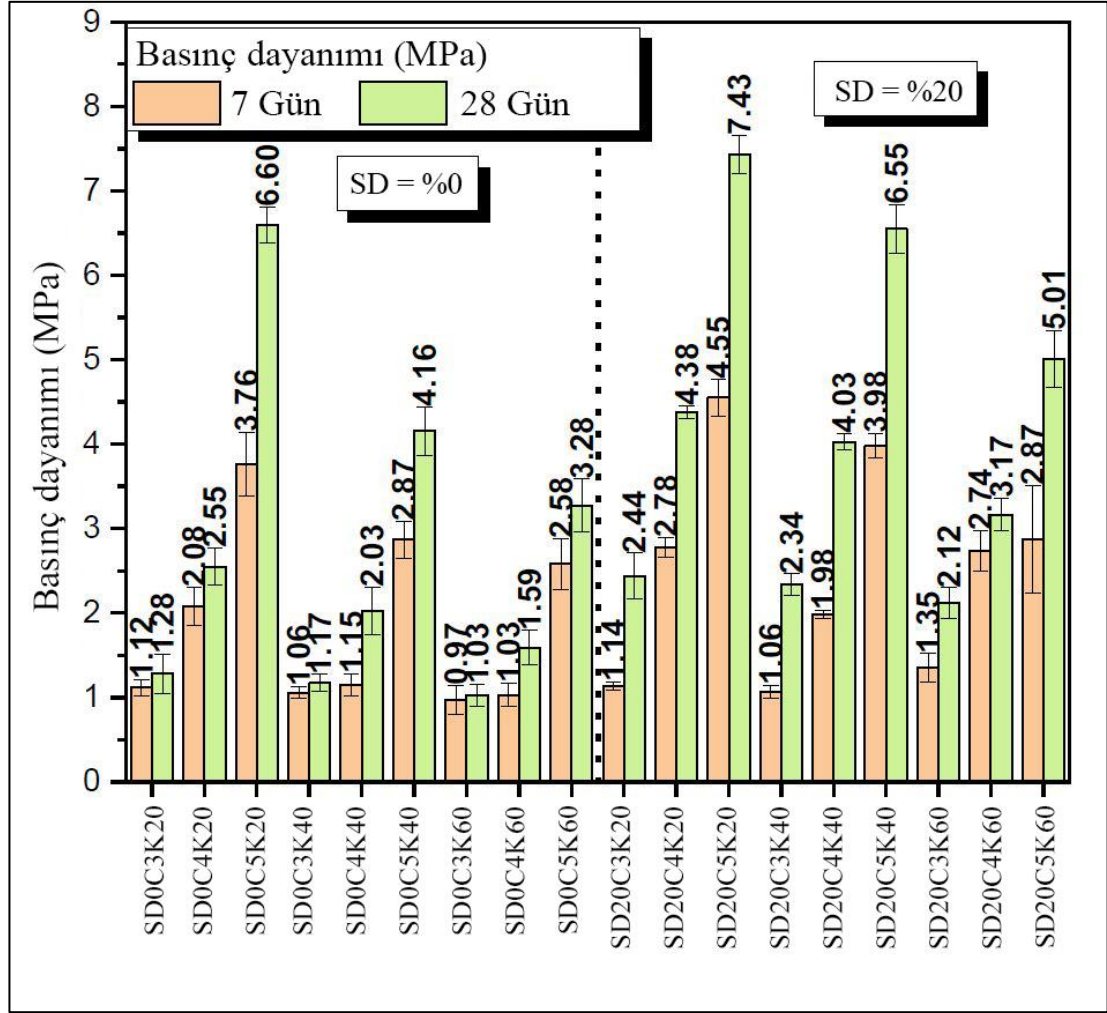


Şekil 4.1 Köpük betonun işlenebilirliği

4.2 Basınç Dayanımı

Farklı köpük içeriği, çimento ve SD içerikli karışımların 7 ve 28 günlük basınç dayanımları Şekil 4.2’de gösterilmiştir. Silis kumu yerine agrega olarak %100 ALKA kullanılan karışımların basınç dayanımlarının belirgin bir şekilde azaldığı ve en yüksek basınç dayanımının 7,43 MPa olduğu gözlenmiştir. Betondaki bir belirgin basınç dayanımı azalması kauçuk içeriğine atfedilebilir olarak ifade edilmiştir. Artan boşluk miktarı ve kauçuğun düşük sertliği erken çatlak oluşumuna ve düzgün olmayan basınç dağılımı ve kauçuk-beton mukavemetinin azalmasına bağlıdır. Kauçuk parçalarının yanında azaltılmış bir ITZ bağı ve geliştirilmiş su içeriği betonun yarmada çekme kapasitesini azaltmaktadır (Kashani vd. , 2018; Reda Taha vd. , 2008; Siddique ve Naik, 2004). Tüm karışımların basınç dayanımlarının çimento ve SD içeriğinin artması ve kütleme günlerinin artması ile arttığı fakat karışımın katı içeriğinin

azalmasından dolayı köpük içeriği arttıkça basınç dayanımı azaldığı gözlenmektedir. SD'sız karışımların 7 günlük basınç dayanımları 0,97 MPa'dan 3,76 MPa'ya ve 28 günlük basınç dayanımları ise 1,03 MPa'dan 6,60 MPa'ya çeşitlendiği gözlenmektedir. En düşük basınç dayanımı 300 kg/m³ çimento içeriği ve 60 kg/m³ köpük içeriği içeren karışımda gözlenmiştir. En yüksek basınç dayanımı ise 500 kg/m³ çimento içeriği ve 20 kg/m³ köpük içeriği içeren karışımda gözlemlenmiştir. Tüm karışımlar sabit 0,75 s/b oranına sahip olduğu için çimento içeriğindeki artış, basınç dayanımını 20 kg/m³ köpük içeriğinde 300 kg/m³ çimento içeriği ile karşılaştırıldığında 500 kg/m³ çimento içeriğinde %415,62 maksimum artış gözlemlenmiştir. Çimento içeriğinin artmasından dolayı basınç dayanımının artışı karışımdaki ALKA içeriğinin azalmasına atfedilebilir. SD'li karışımların 7 günlük basınç dayanımı 1,06 MPa'dan 4,55 MPa'ya ve 28 günlük basınç dayanımları 2,12 MPa'dan 7,43 MPa'ya çeşitlenmektedir. Sonuçlar, SD içeriğindeki artışın betonda daha yüksek basınç dayanımı ile sonuçlandığı göstermektedir. Daha önce de ifade edildiği gibi, ilave kauçuk basınç dayanımında önemli bir azalmaya yol açmaktadır. Ancak bu etki SD kullanımı ile en aza indirilme eğilimindedir. Gupta vd. , (2016) %25 kauçuk lif içeren betonlar için 0,35; 0,45 ve 0,55 s/b oranlarında ve %10, 25, 27 ve 33 SD ikamesi ile benzer sonuçlar elde etmiştir. Onuaguluchi %5, 10 ve 15 kauçuk seviyesi ve %10 SD ile betonda sırası ile %104, 97 ve 75 basınç dayanımı artışı elde etmiştir (Onuaguluchi, 2015). Betonda SD'nin kullanımı boşlukları doldurma ve puzolanik reaksiyondan dolayı daha fazla hidrasyon ürünleri elde etmeye sebep olmaktadır. Tüm bu etkiler, bir daha yoğun yapı ve daha yüksek basınç dayanımı ile sonuçlanmaktadır. En düşük basınç dayanımı, 7 ve 28 günlük basınç dayanımları için 300 kg/m³ çimento içeriği ve 40, 60 kg/m³ köpük içeriğinde gözlemlenmiştir. En yüksek basınç dayanımı, 7 ve 28 günlük basınç dayanımı için 500 kg/m³ çimento içeriği ve 20 kg/m³ köpük içeriğinde gözlemlenmiştir. SD'sız karışımların basınç dayanımlarına benzer olarak çimento içeriğindeki artış 20 kg/m³ köpük içeriğinde 300 kg/m³ çimento içeriği ile 500 kg/m³ çimento içeriği karşılaştırıldığında %204,50 maksimum basınç artışı ile sonuçlandığı gözlemlenmektedir.

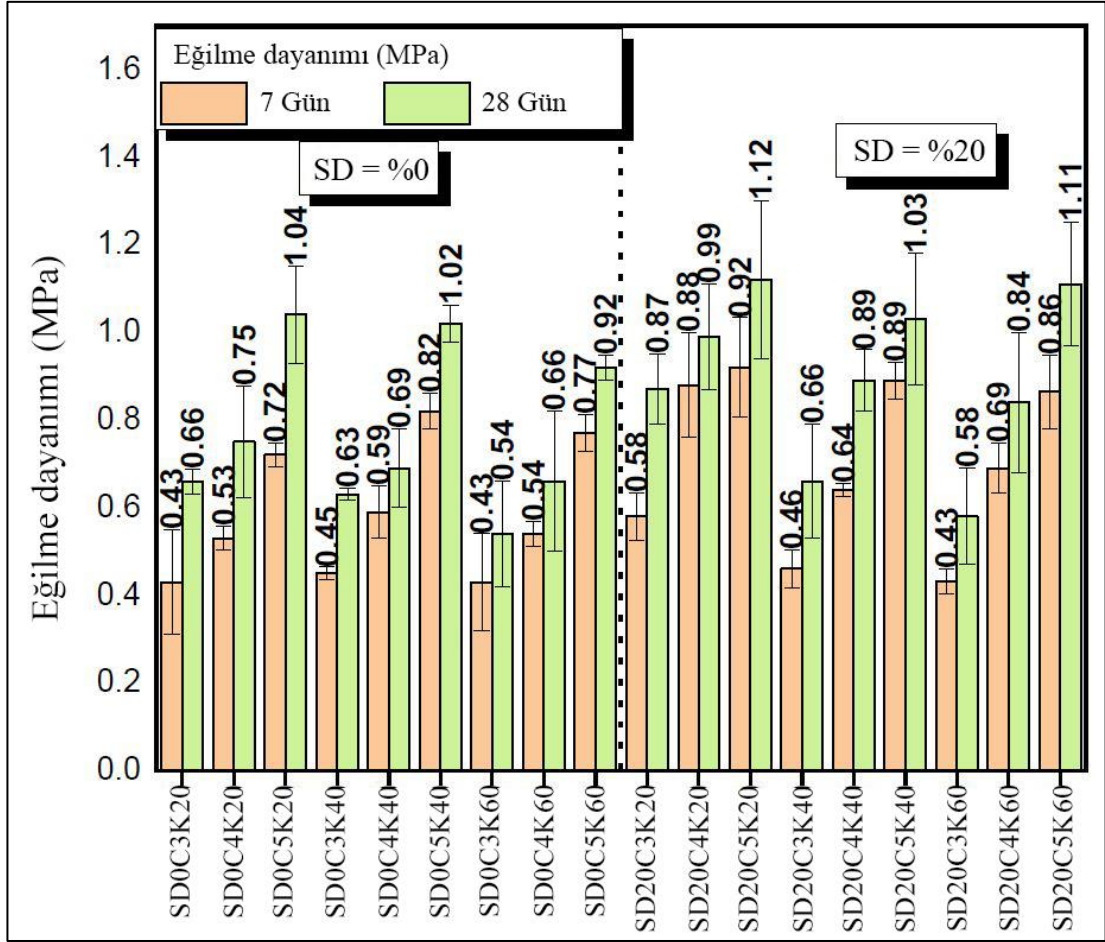


Şekil 4.2 7 ve 28 günlük basınç dayanımı

4.3 Eğilme Dayanımı

Farklı köpük, çimento ve SD içerikli karışımların 7 ve 28 günlük eğilme dayanımları Şekil 4.3'te gösterilmiştir. Silis kumu yerine %100 ALKA agregasının kullanılmasından dolayı karışımlar düşük eğilme dayanımı sergilemiştir. Karışımlar arasında en yüksek eğilme dayanımı 1,12 MPa olarak bulunmuştur. Eğilme dayanımı davranışının basınç dayanımı davranışına çok benzer olduğu gözlemlenmiştir. Eğilme dayanımındaki azalma basınç dayanımının daha düşük olması durumunda olduğu gibi silis kumu ile karşılaştırıldığında ALKA'nın daha düşük sertliğinden dolayı kaynaklanmaktadır. Bu sonuçların, geleneksel beton ve harçlarda agrega olarak ALKA kullanıldığı zaman daha düşük eğilme dayanımı ve yükleme kapasitesinin raporlandığı daha önceki çalışmalar ile uyumlu olduğu gözlemlenmiştir (Adesina ve Das, 2021; Al-Tayeb vd. , 2013). Tüm karışımların eğilme dayanımı çimento ve SD içeriğinin ve

kürleme gününün artması ile artmaktadır. Fakat köpük içeriğinin artması ile karışımın katı içeriğinin azalmasından dolayı eğilme dayanımı azalmıştır. SD'siz karışımların 7 günlük eğilme dayanımları 0,43 MPa'dan 0,82 MPa'ya ve 28 günlük eğilme dayanımları 0,54 MPa'dan 1,04 MPa'ya çeşitlenmiştir. En düşük eğilme dayanımını 300 kg/m³ çimento içeriği ve 60 kg/m³ köpük içeriği içeren karışımda gözlenirken en yüksek eğilme dayanımı ise 500 kg/m³ çimento içeriğinde 7.günde 40 kg/m³ köpük içeriği 28.günde ise 20 kg/m³ köpük içeriğinde gözlenmiştir. Çimento içeriğinin 300 kg/m³'ten 500 kg/m³'e artmasından dolayı SD'siz karışımların eğilme dayanımı artışı 20,40 ve 60 kg/m³ köpük içeriğinde 28.günde sırasıyla %57,57; 61,90 ve 70,37 olarak gözlemlenmiştir. Çimento artışından dolayı eğilme dayanımı artışı karışımdaki ALKA içeriğinin azalmasıyla bağlantılanabilmektedir. SD'li karışımlar 7 günlük eğilme dayanımları 0,43 MPa'dan 0,58 MPa'ya ve 28 günlük dayanımları 0,92 MPa'dan 1,12 MPa'ya çeşitlenmektedir. SD'siz karışımların eğilme dayanımları ile SD'li karışımların eğilme dayanımları karşılaştırıldığında SD içeren karışımların daha yüksek eğilme dayanımı gösterdiği gözlemlenmiştir. 7 ve 28 günlük en düşük eğilme dayanımı 300 kg/m³ çimento içeriği ve 60 kg/m³ köpük içeriğinde gözlemlenirken en yüksek eğilme dayanımı 500 kg/m³ çimento içeriği ve 20 kg/m³ köpük içeriğinde gözlemlenmiştir. Çimento içeriğinin 300 kg/m³'ten 500 kg/m³'e artmasından dolayı SD içeren karışımların 28 günlük eğilme dayanımı artışı 20, 40 ve 60 kg/m³ köpük içeriğinde sırası ile %28,73; 56,06 ve 91,37 olarak gözlemlenmiştir. SD içeren karışımların 20 ve 40 kg/m³ köpük içeriğinde daha düşük eğilme dayanımı azalmasına sahip olurken 60 kg/m³ köpük içeriğinde daha yüksek eğilme dayanımı azalmasına sahip olduğu gözlemlenmiştir. Elchalakani (2015) SD dahil edilmesinin ve s/b oranının azalmasının kauçuk içeren betonun arayüz geçiş bölgesi bağını SD ile arttırmasından dolayı eğilme dayanımını geliştirdiği gözlemlenmiştir.

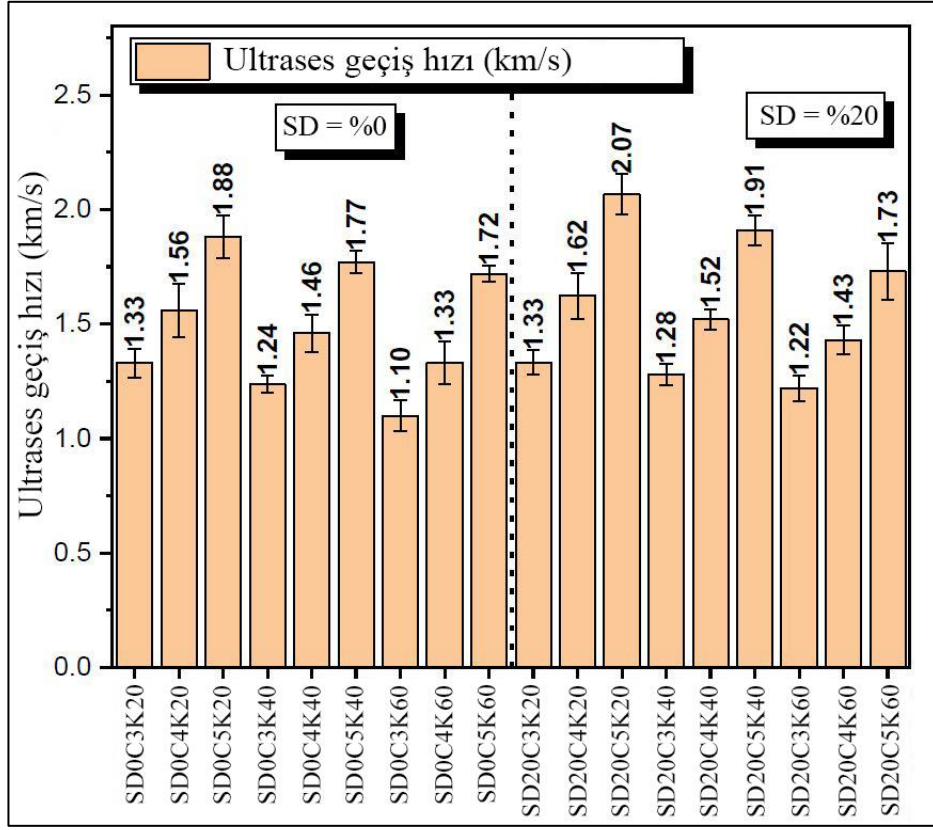


Şekil 4.3 7 ve 28 günlük eğilme dayanımı

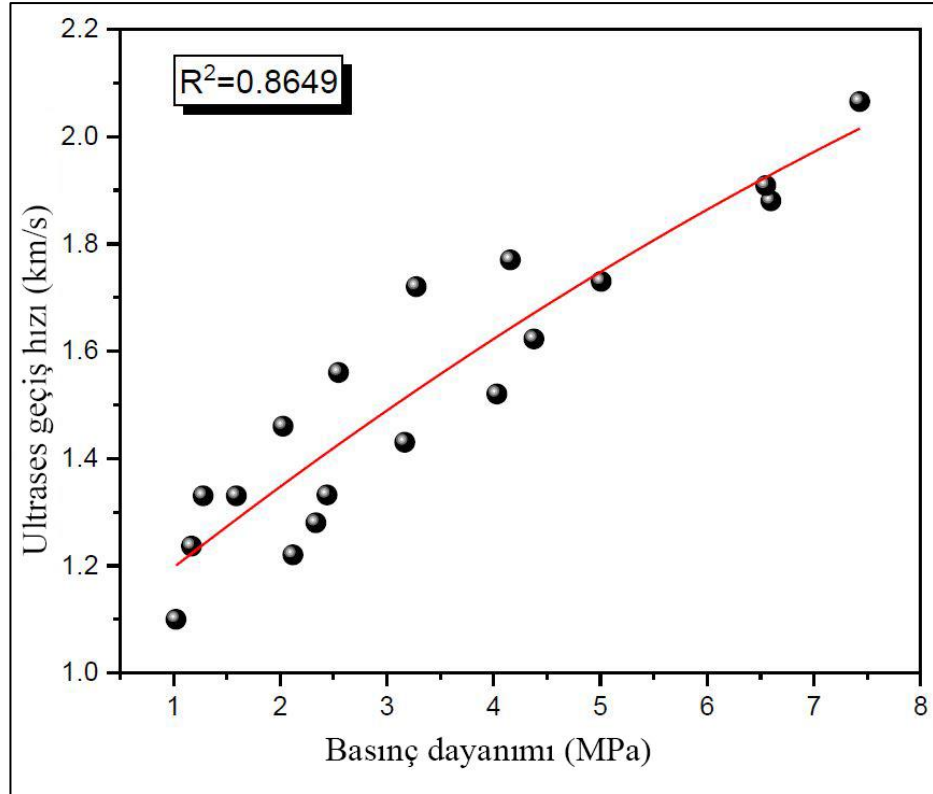
4.3.1 Ultrases Geçiş Hızı (UGH)

Ultrases geçiş hızı yöntemi, bir yapıdaki betonun/harcın kalitesini değerlendirmek için en çok kabul edilen tahribatsız yöntemdir (2020). Farklı köpük, çimento ve SD içerikli karışımların 28 günlük UGH sonuçları Şekil 4.4a’da gösterilmiştir. Şekil 4.4a’da gösterildiği gibi basınç ve eğilme dayanımı sonuçları ile benzer UGH sonuçları bulunmuştur ve bu sonuçlar basınç dayanımı sonuçlarını doğrulamaktadır. Tüm karışımların UGH değerleri çimento ve SD içeriğinin artması ile artmaktadır. Fakat köpük içeriği arttıkça karışımdaki katı içeriğin azalmasından dolayı UGH değerleri azalmaktadır. SD’siz karışımların 28 günlük UGH değerleri 1,10 km/s’den 1,88 km/s’ye çeşitlenmektedir. Karışımların en düşük UGH değeri 300 kg/m³ çimento içeriği ve 60 kg/m³ köpük içeriği içeren karışımda ve en yüksek UGH değeri ise basınç dayanımının sonucunda olduğu gibi 500 kg/m³ çimento içeriği ve 20 kg/m³ köpük içeriği içeren karışımda gözlemlenmiştir. Çimento içeriğinin 300 kg/m³’ten 500

kg/m³'e artmasından dolayı SD'siz karışımların UGH artışları 28 günde 20, 40 ve 60 kg/m³ köpük içeriğinde sırasıyla %41,35; 42,74 ve 56,36 olarak gözlemlenmiştir. SD içeren karışımlar 28 günlük UGH değerlerinde 1,22 km/s'den 2,07 km/s'ye çeşitlenmektedir. Sonuçlar, ultra ince SD'den kaynaklanan çimento matrisi ve ALKA arasında iyi adezyondan dolayı SD eklenmesi ile UGH'da bir artış gözlenmektedir. En düşük UGH değeri 300 kg/m³ çimento içeriği ve 60 kg/m³ köpük içeriği içeren karışımda gözlemlenmiştir. En yüksek UGH değeri ise basınç dayanımında olduğu gibi 500 kg/m³ çimento içeriği ve 20 kg/m³ köpük içeriği içeren karışımda gözlemlenmiştir. Çimento içeriğinin 300 kg/m³'ten 500 kg/m³'e artmasından dolayı SD'li karışımların UGH artışı 20, 40 ve 60 kg/m³ köpük içeriklerinde sırasıyla %55,63; 49,21 ve 41,80 olarak gözlemlenmiştir. Çimento içeriğinin artmasından dolayı UGH artışı karışımdaki ALKA içeriğinin azalması ile açıklanabilmektedir. SD, yüksek bir özgül yüzeye ve aktiviteye sahip olduğundan, ITZ ve matristeki gözeneklerin artırılmasını geliştirerek, gözenek doldurma etkisinden dolayı daha yüksek UGH değerlerine ve puzolanik reaksiyon yoluyla ilave C-S-H oluşumu üzerine gözenek iyileşmesine neden olmuştur (Mardani-Aghabaglou vd. , 2014). UGH ve basınç dayanımı arasındaki ilişki, Şekil 4.4b'de gösterildiği gibi 0,86 R² değeri olarak bu iki değişken arasında güçlü bir korelasyon trend çizgisi olarak gösterilebilmektedir.



a)

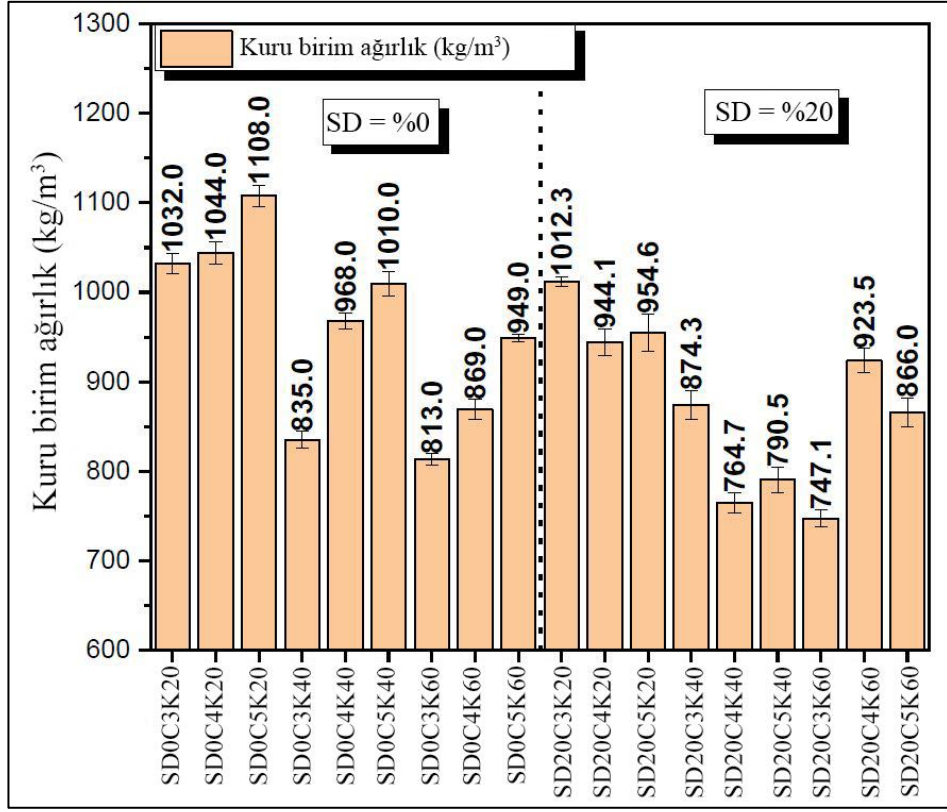


b)

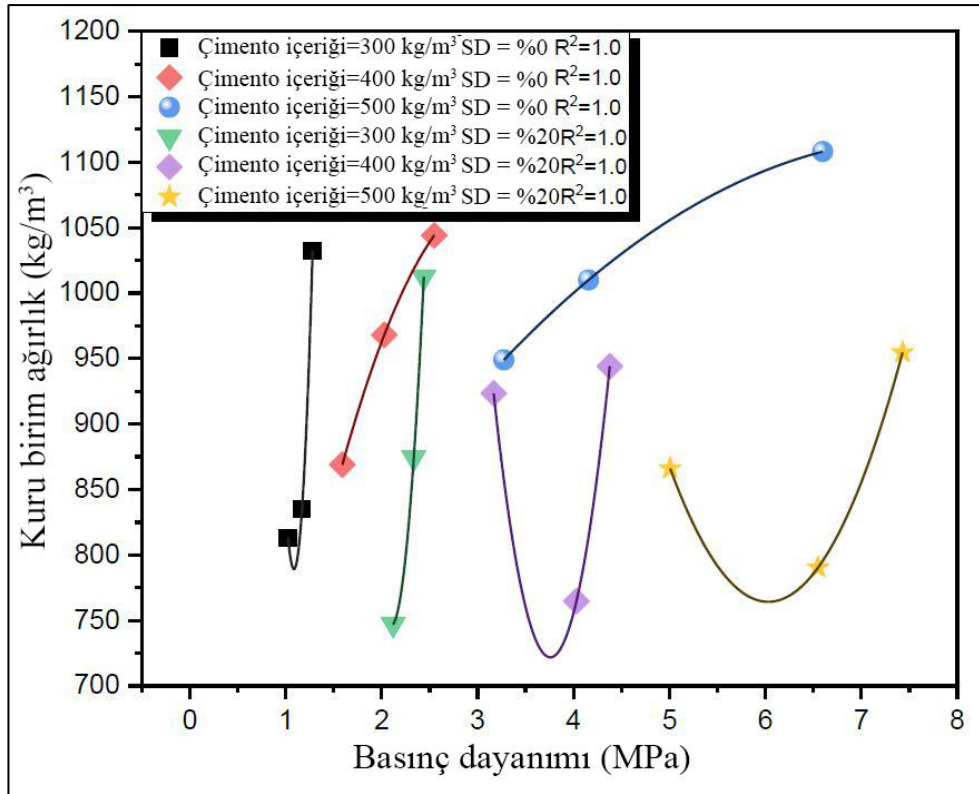
Şekil 4. 4 a) UGH sonucu 28. gün b) UGH ve basınç dayanımı arasındaki ilişki

4.3.2 Kuru Birim Hacim Ağırlık

Farklı köpük, çimento ve SD içeriklerine sahip karışımların 28 günlük kuru birim ağırlıkları Şekil 4.5a'da gösterilmiştir. SD'siz betonların kuru birim ağırlığı, çimento ve SD içeriğindeki artışla artarken, katı içeriğindeki azalma ve karışımların gözenekliliğinin artması nedeniyle köpük içeriği arttıkça azalmaktadır. Çimento içeriği artışına bağlı olarak kuru birim ağırlık artışı, karışımlardaki ALKA içeriğindeki azalmaya bağlanabilmektedir. Karışımların kuru birim ağırlığı 747,1 kg/m³ ile 1108 kg/m³ aralığında çeşitlenmektedir. Ancak SD içeren karışımların kuru birim ağırlığı farklı davranış göstermiş ve 20 ve 40 kg/m³ köpük içeriğinde, çimento içeriğinin 300 kg/m³'ten 400 kg/m³'e çıkmasıyla betonların kuru birim ağırlığı azalmış ancak 500 kg/m³ çimento içeriğinde hafif bir artış gözlenmiştir. SD'siz karışımlar, 813 kg/m³ ile 1108 kg/m³ arasında değişen kuru birim ağırlık gözlenmiştir. 300 kg/m³ çimento içeriği ve 60 kg/m³ köpük içeren karışımlar en düşük birim ağırlığı, 500 kg/m³ çimento içeriği ve 20 kg/m³ köpük içeren karışımlar en yüksek birim ağırlığı göstermiştir. Çimento içeriğinin 300 kg/m³'ten 500 kg/m³'e yükselmesi nedeniyle SD içermeyen karışımların birim ağırlık artışları 20, 40 ve 60 kg/m³ köpük içeriğinde sırasıyla %7,36; 20,95 ve 16,72 olarak gözlenmiştir. Şekil 4.5'te verilen sonuçlar dikkate alındığında, SD ilavesiyle SD'nin çimento partiküllerinden daha hafif partikülleri nedeniyle daha düşük kuru birim ağırlık değerleri bulunmuştur (Benli, 2019; Benli vd. , 2017). Mehrani vd. , (2019) %0, 5, 10, 15 ve 20 oranında kauçuk tozu içeren köpük betonu araştırmıştır. 1800 kg/m³ köpük beton yoğunluğu elde etmişlerdir. SD'li karışımlar, 747,1 ile 1012,3 kg/m³ arasında değişen kuru birim ağırlık göstermiştir. 300 kg/m³ çimento ve 60 kg/m³ köpük içeren karışımlar en düşük birim ağırlığı, 300 kg/m³ çimento içeriği ve 20 kg/m³ köpük içeren karışımlar en yüksek birim ağırlığı göstermektedir. Çimento içeriği ve SD içeriği açısından basınç dayanımı ve kuru birim ağırlık arasındaki ilişki, Şekil 4.5b'de gösterildiği gibi bu iki değişken arasında R² değerleri 1,0 olarak güçlü bir korelasyon trend çizgisi olarak gösterilmektedir.



a)

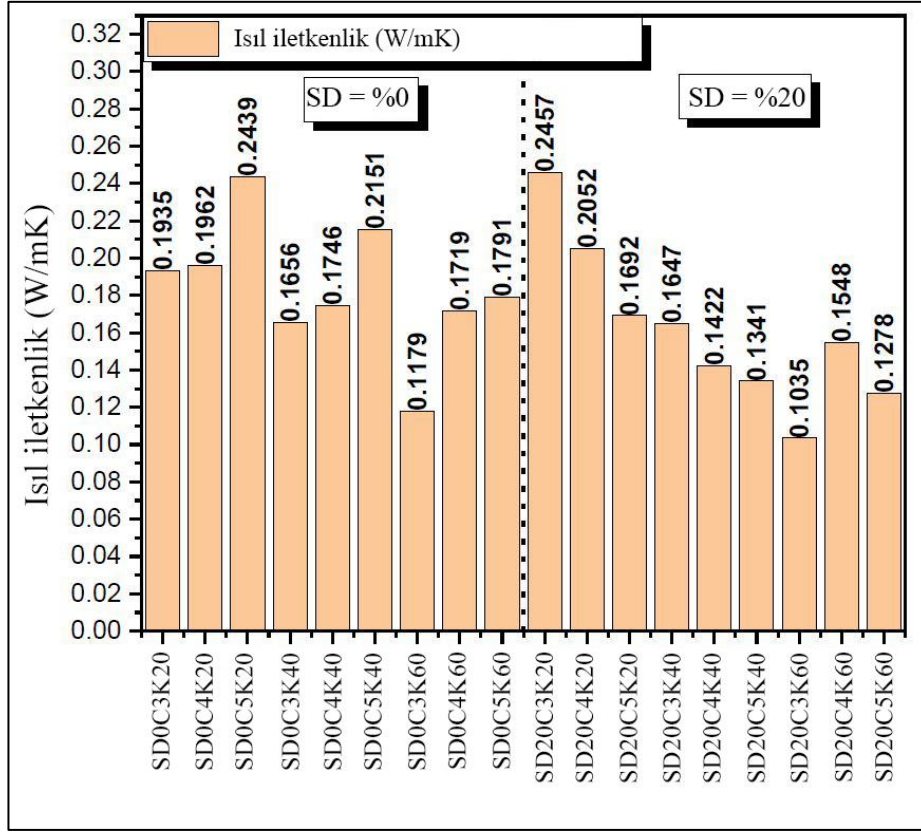


b)

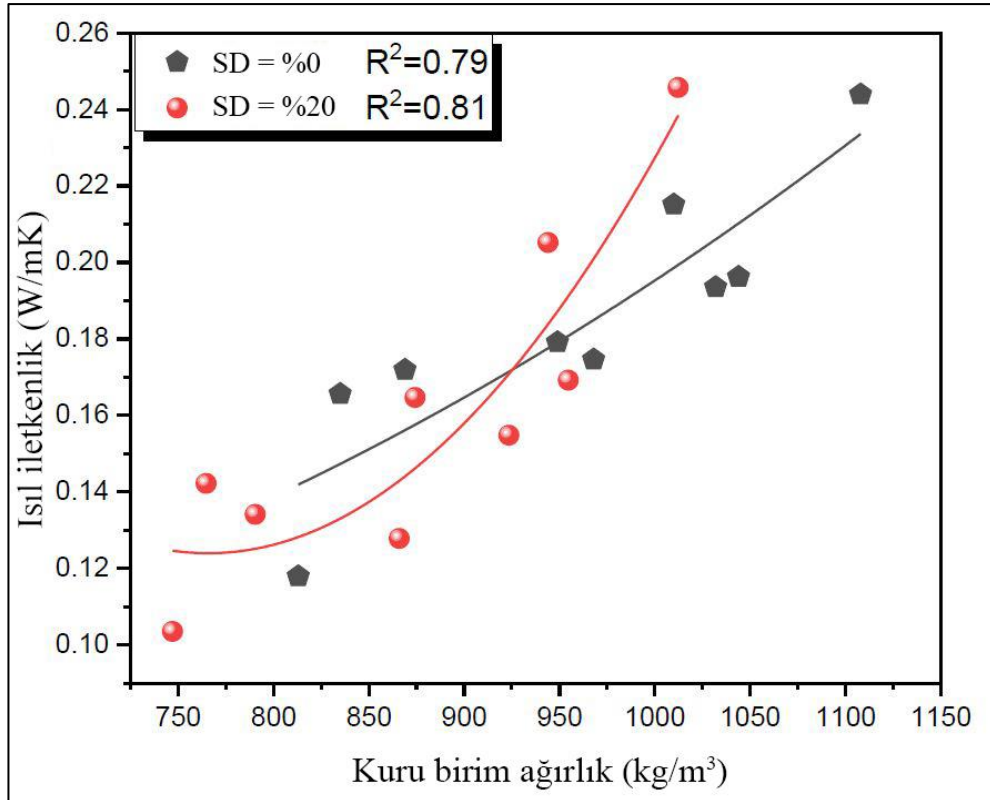
Şekil 4.5 a) Kuru birim ağırlık 28. Gün b) Kuru birim ağırlık ve basınç dayanımı arasındaki ilişki

4.3.3 Isıl iletkenlik

Farklı köpük, çimento ve SD içeriklerine sahip karışımların 28 günlük ısı iletkenlik sonuçları Şekil 4.6a'da gösterilmiştir. Betonun ısı iletkenliği ile birim ağırlığı arasında önemli bir ilişki vardır (Bayraktar vd. , 2021; Gencel vd. , 2021c). Gösterildiği gibi, Isıl iletkenlik çimento içeriği arttıkça artmaktadır ya da artan köpük içeriği ile azalan katı içeriği ve artan gözeneklilik nedeniyle azalmaktadır. SD içermeyen ve çimento içeriği 500 kg/m³ olan karışımlar, tüm köpük içeriklerinde en yüksek ısı iletkenliği sergilemiştir. SD içermeyen karışımlar, 0,1179 W/mK ile 0,2439 W/mK arasında değişen ısı iletkenlik göstermektedir. 300 kg/m³ çimento ve 60 kg/m³ köpük içeren karışımlar en düşük birim ağırlık nedeniyle en düşük ısı iletkenliği sergilerken çimento içeriği 500 kg/m³ ve köpük içeriği 20 kg/m³ olan karışımlar en yüksek kuru ağırlık nedeniyle en yüksek ısı iletkenlik sergilemiştir. Çimento içeriğinin 300 kg/m³'ten 500 kg/m³'e yükselmesi nedeniyle SD içermeyen karışımların ısı iletkenlik artışı 20, 40 ve 60 kg/m³ köpük içeriğinde sırasıyla %26,04; 29,89 ve 51,90 olarak gözlenmiştir. 60 kg/m³ köpük içeriğinde çimento içeriğindeki artışa bağlı olarak ısı iletkenlikte daha fazla artış olduğu bildirilebilmektedir. SD içeren karışımlar, 0,1035 W/mK ile 0,2457 W/mK arasında değişen ısı iletkenlik sergilemiştir. SD'li ve SD'siz tüm karışımlar arasında en yüksek ısı iletkenlik, SD'li ve 300 kg/m³ çimento içeriği ve 20 kg/m³ köpük içeren karışımdan elde edilmiştir. Bunun nedeni, SD ilavesinden dolayı betonun daha kompakt ve yoğun yapıda olmasıdır. 300 kg/m³ çimento ve 60 kg/m³ köpük içeren karışımlar, tüm karışımlar arasında en düşük birim ağırlık nedeniyle en düşük ısı iletkenliği sergilemektedir. SD'siz karışımların aksine, SD'li karışımların ısı iletkenliği genellikle birim ağırlığın davranışı gibi artan çimento içeriği ile azalmaktadır. En düşük değere sahip karışım ile en yüksek değere sahip karışım karşılaştırıldığında ısı iletkenlik düşüşü %137,39 olmuştur. 60 kg/m³ köpük içeriğinde çimento içeriğindeki artışa bağlı olarak ısı iletkenlikte daha fazla artış olduğu bildirilebilmektedir. 60 kg/m³'lük daha yüksek köpük içeriğinde SD ilavesiyle daha gözenekli matris üretildiği gözlenmektedir. SD'nin düşük özgül ağırlığının numunelerin ısı iletkenliğini azalttığı da fark edilmiştir. Şekil 4.6b, karışımların ısı iletkenliği ile kuru birim ağırlığı arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Şekil 4.6'da gösterildiği gibi, sırasıyla %0 ve %20 SD içeriğinde 0,79 ve 0,81 R² ile kuru birim ağırlık ve ısı iletkenlik arasında çok iyi bir korelasyon olduğu gözlenmektedir.



a)

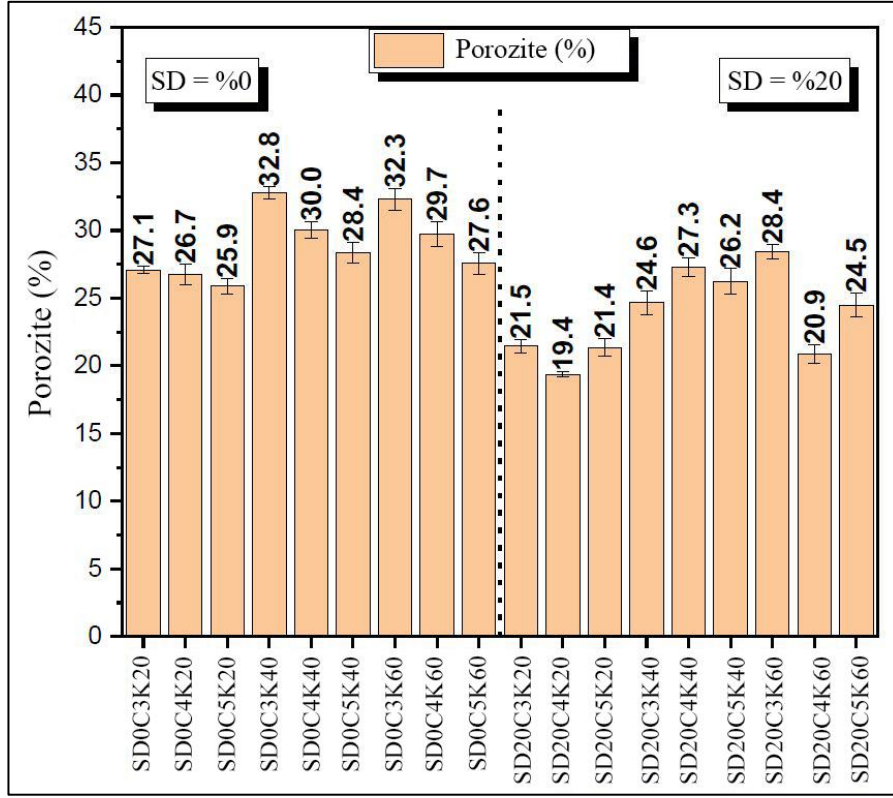


b)

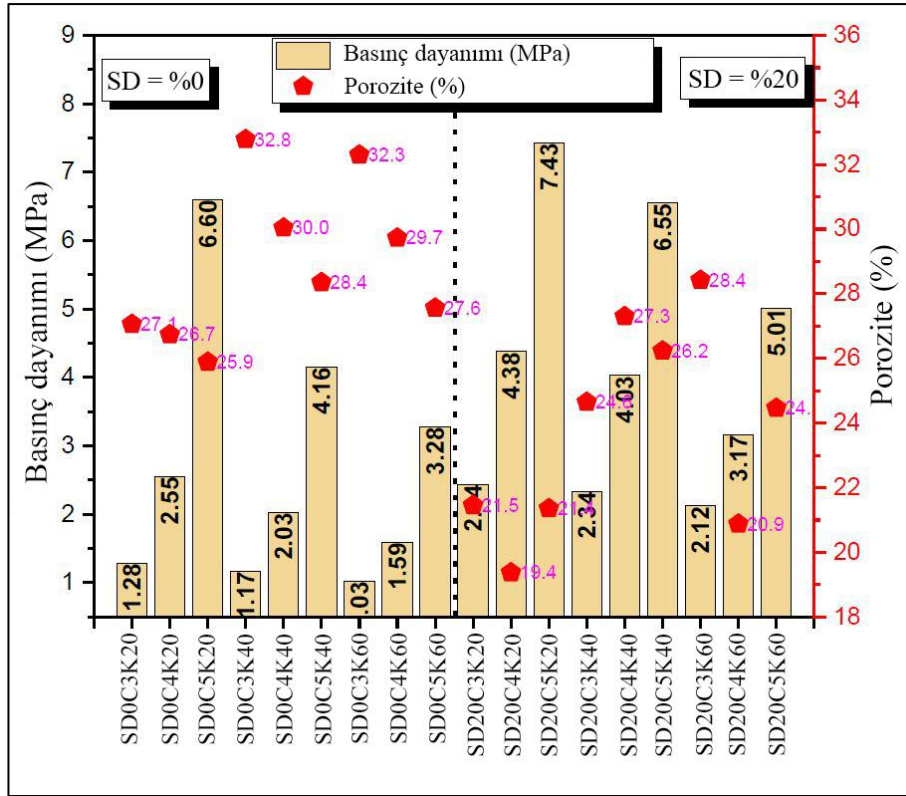
Şekil 4.6 Isıl iletkenlik 28. gün b) Isıl iletkenlik ve kuru birim ağırlık arasındaki ilişki

4.3.4 Porozite Ve Su Emme

Şekil 4.7a, farklı köpük, çimento ve SD içeriklerine sahip 28 günlük betonların porozite değerlerini göstermektedir. Gösterildiği gibi, SD içermeyen karışımlar için azalan katı içeriği nedeniyle, gözeneklilik çimento içeriği arttıkça azalmakta ve artan köpük içeriği ile artmakta olduğu gözlemlenmektedir. SD içermeyen karışımlar, %25,9 ile 32,8 arasında değişen porozite değerleri gözlemlenmektedir. 500 kg/m³ çimento ve 20 kg/m³ köpük içeren karışımlar en düşük porozite değerleri sergilerken, 300 kg/m³ çimento içeriği ve 40 kg/m³ köpük içeren karışımlar en yüksek porozite değerleri gözlemlenmiştir. Çimento içeriğinin 300 kg/m³'ten 500 kg/m³'e yükselmesi nedeniyle SD içermeyen karışımların porozite değerlerinin azalması 20, 40 ve 60 kg/m³ köpük içeriğinde sırasıyla %4,42; 13,41 ve 14,55 olarak gözlemlenmiştir. SD içeren karışımlar %19,4 ile 28,4 arasında değişen porozite değerleri sergilemiştir. Tüm karışımlar arasında en düşük porozite değerini 400 kg/m³ çimento içeriği ve 20 kg/m³ köpük içeren karışımlar, en yüksek porozite değerini ise 300 kg/m³ çimento içeriği ve 60 kg/m³ köpük içeren karışımlar göstermiştir. Porozite azalması en yüksek değere sahip karışım ile en düşük değere sahip karışım ile karşılaştırıldığında %31,69 olarak gözlemlenmiştir. Çimento taneleri arasındaki boşluklara doldurulan SD'nin puzolanik aktivitesinin bir sonucu olarak, ALKA hidrasyon ürünleri, karışımların gözenekliliğini ve toplam su emmesini önemli ölçüde azalmaktadır (Onuaguluchi ve Panesar, 2014). Şekil 4.7b, basınç dayanımı ve porozite arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Şekilde SD içermeyen karışımlar, artan basınç dayanımı ile porozite değerlerinde doğrusal bir azalmanın gözlemlendiğini göstermektedir. Kısacası, basınç dayanımı ne kadar yüksek olursa, porozite değerleri o kadar düşük olur veya bunun tersi de geçerlidir. SD ile yapılan karışımlar, basınç dayanımı ve porozite değerleri arasında tam olarak doğrusal bir ilişki olduğunu göstermemektedir. Kısacası, en yüksek basınç, en düşük porozite değerlerine karşılık gelmemiştir veya bunun tersi de geçerlidir.



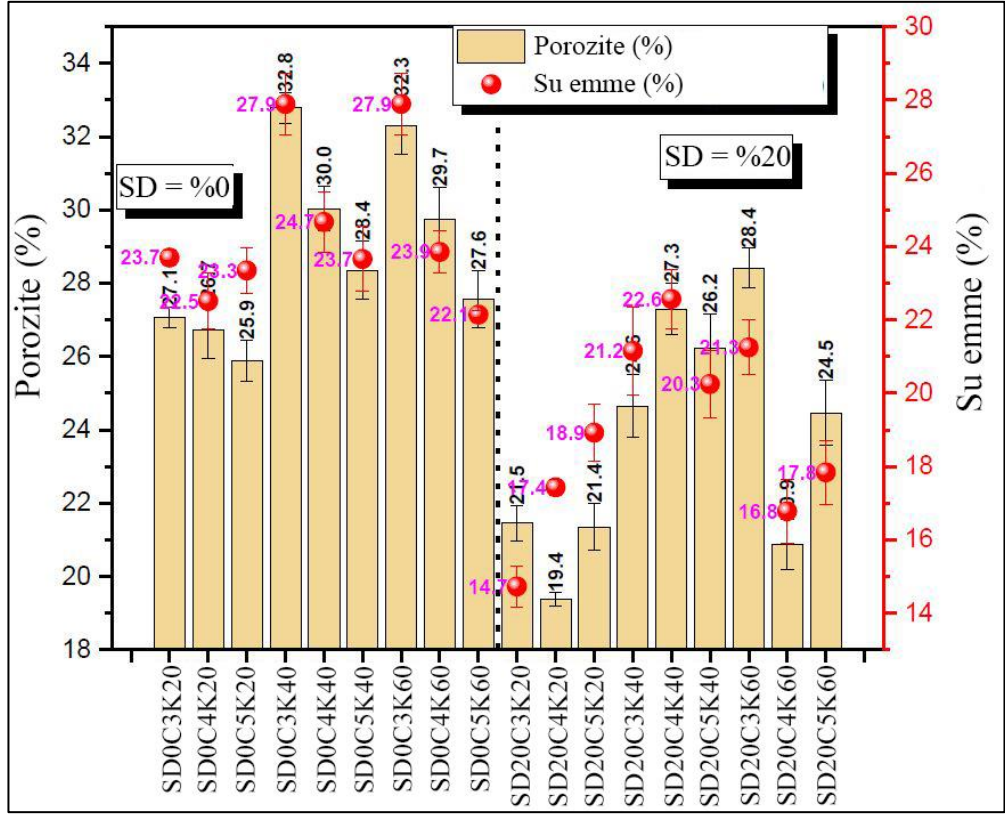
a)



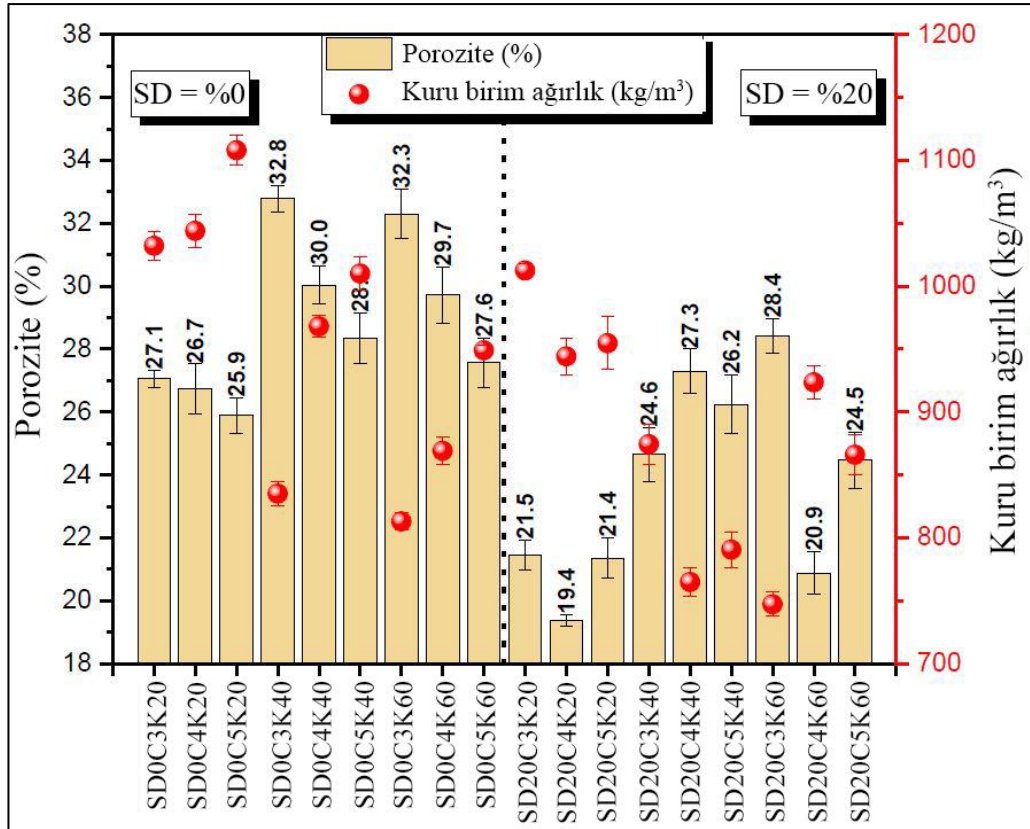
b)

Şekil 4.7 a) Porozite değeri 28. gün b) Basınç dayanımı ve porozite arasındaki ilişki

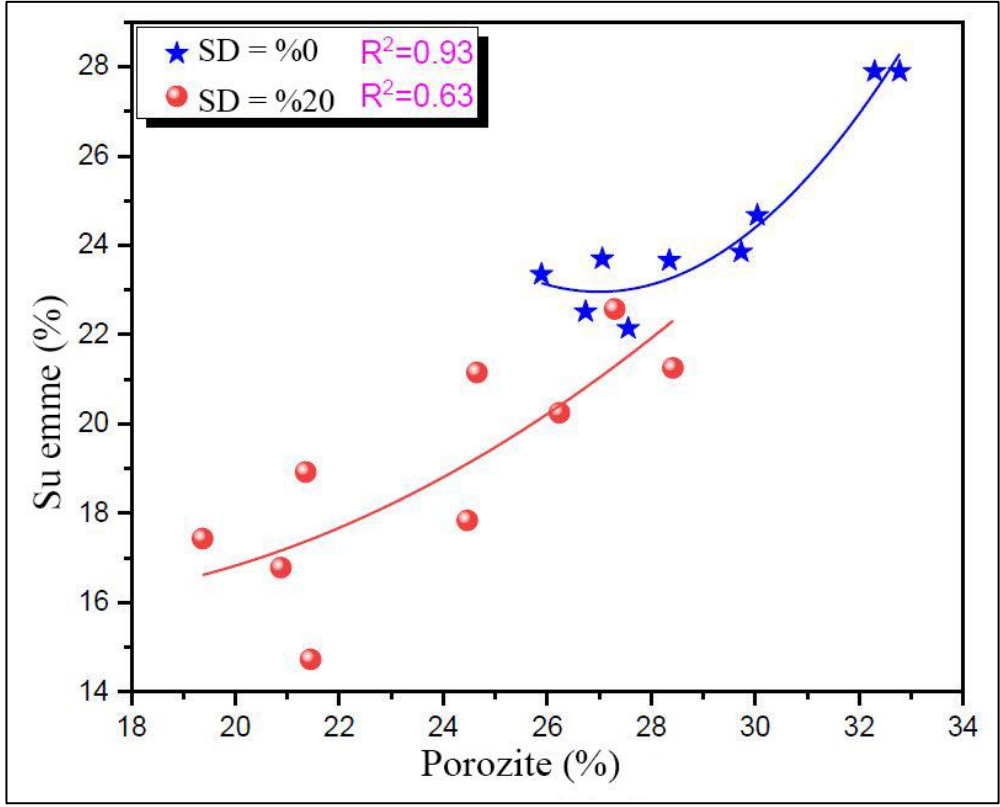
Farklı köpük, çimento ve SD içeriklerine sahip numunelerin porozite, su emme ve kuru birim ağırlıkları arasındaki ilişki Şekil 4.8a'da gösterilmiştir. ASTM C 642 (2013) ile uyumlu olarak 28 gün sonra su emilimini değerlendirmek için 50*50*50 mm numuneler üzerinde test yapılmıştır. Çimento içeriği 300 kg/m³ ve köpük içeriği 40 ve 60 kg/m³ olan karışımlar en büyük porozite ve su emme göstermiştir ve çimento içerikleri 400 kg/m³, 300 kg/m³ ve köpük içeriği 20 kg/m³ olan numuneler sırasıyla en düşük porozite ve su emme değerlerini göstermiştir. Görüldüğü gibi, çimento içeriğindeki artış ve SD ilavesi poroziteyi ve su emilimini azaltmıştır ancak düşük köpük içeriğinde SD'nin porozite ve su emilimi üzerindeki önemli etkisi gözlemlenmiştir. Daha yoğun ve daha kompakt yapıya sahip beton, daha az porozite ve su emilimini sağlamıştır. SD'nin dolgu görevi de gören puzolanik etkisi, daha az geçirgen bir macun ile sonuçlanmış ve arayüzey geçiş bölgesini (ITZ) iyileştirmiş ve karışımların gözeneklilik ve su emme özelliklerini etkilemiştir (Miyandehi vd. , 2016). SD katkılı betonda en yüksek su emme azalması, 300 kg/m³ çimento içeriği ve 20 kg/m³ köpük içeriği içeren karışımda, 300 kg/m³ çimento içeriğinde ve 20 kg/m³ köpük içeriğinde SD içermeyen karışıma göre %37,97 olarak bulunmuştur. Farklı köpük, çimento ve SD içeriklerine sahip betonların porozite ve birim ağırlığı arasındaki ilişki Şekil 4.8b'de gösterilmiştir. Porozitesi düşük olan karışımların daha yüksek kuru birim ağırlığa karşılık geldiği fark edilmiştir. Şekil 4.8c-d'de gösterildiği gibi sırasıyla 0,93; 0,63 ve 0,85; 0,88 R² ile porozite, su emme ve birim ağırlık arasında çok iyi bir korelasyon olduğu gözlenmiştir.



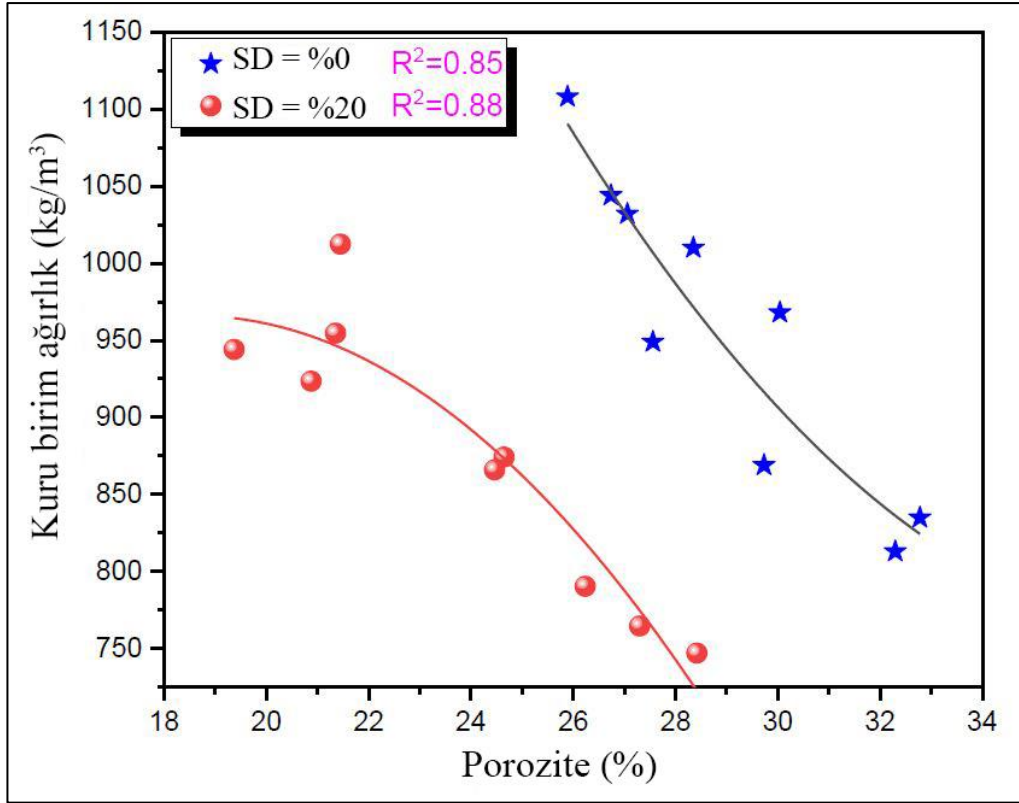
a)



b)



c)



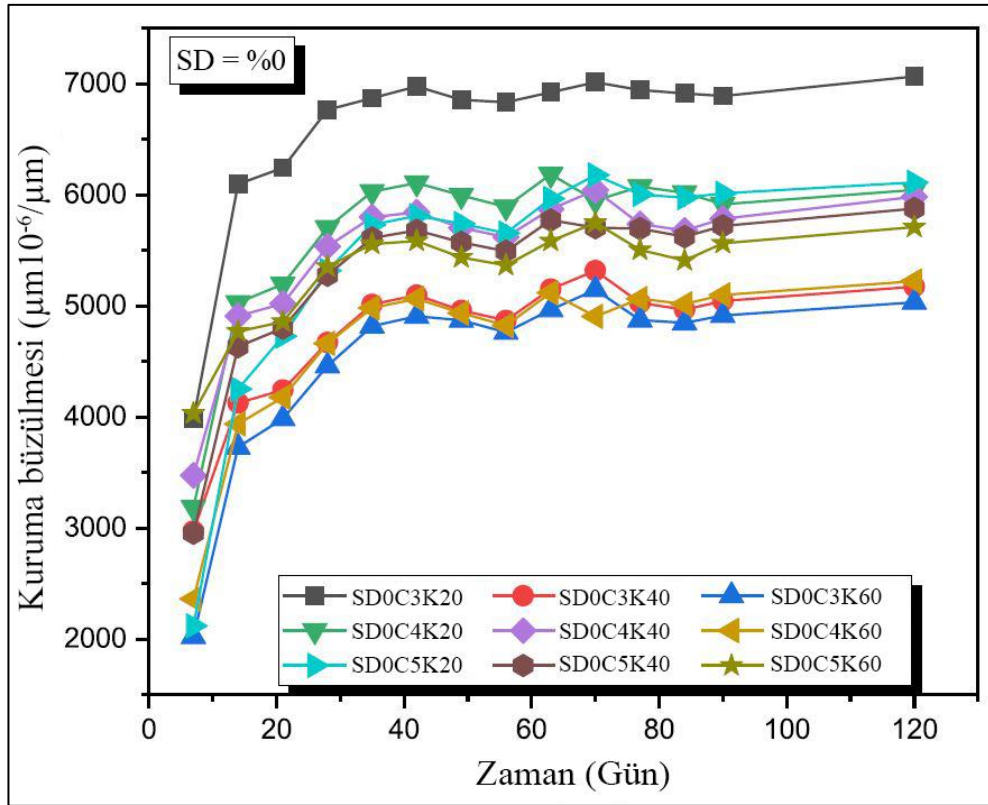
d)

Şekil 4.8 a-c) Porozite ve su emme arasındaki korelasyon ve b-d) Porozite ve kuru birim ağırlık sonuçları

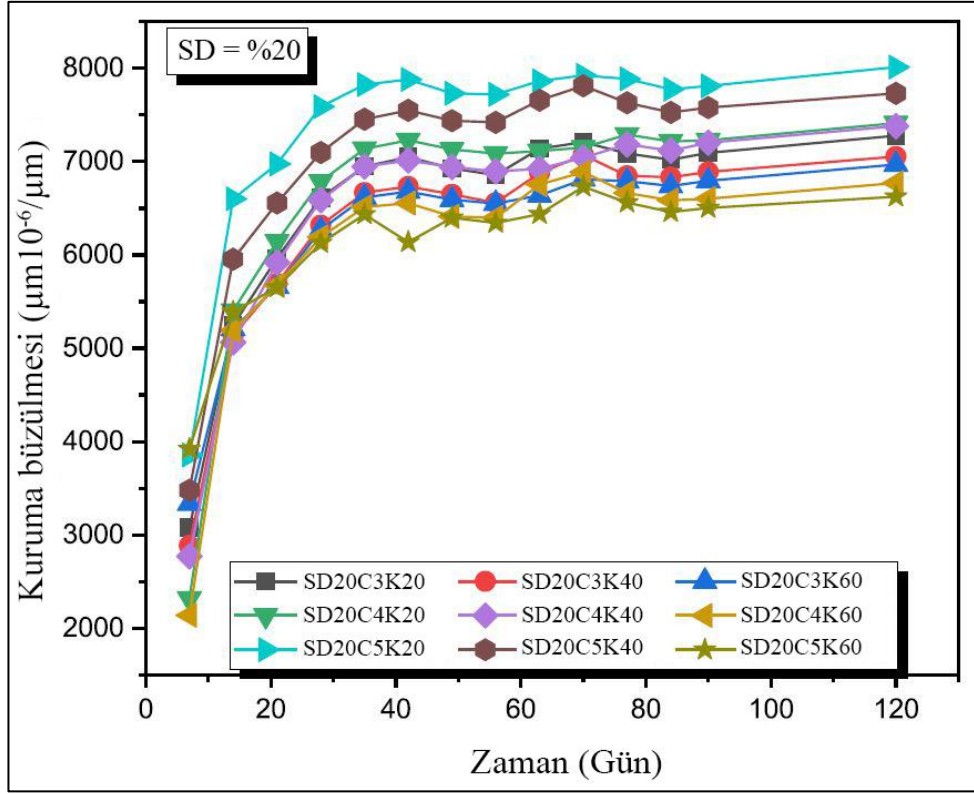
4.3.5 Kuruma Büzülmesi

Farklı köpük, çimento ve SD içerikleri için betonun 120 güne kadar kuruma büzülmesi Şekil 4.9'da gösterilmiştir. Tüm betonlar için erken yaşta daha yüksek kuruma büzülmesi elde edilmiştir. Kuruma büzülmesi değerleri, her iki SD içeriğinde de ilk 14 gün boyunca önemli ölçüde artmıştır. Kuru bir ortama maruz kalan betonda kuruma büzülmesinin, kılcal gözeneklerden suyun buharlaşmasından kaynaklandığı iyi bilinmektedir. Şekil 4.9, tüm betonların kuruma büzülmesinin %60'ından fazlasının ilk 14 gün kuruma sırasında üretildiği ve ardından 120 güne kadar kademeli iyileştirmenin yapıldığını göstermektedir. Bunun temel nedeni, betonun erken yaşta daha fazla bağlı gözeneklere sahip olabilmesi ve bu da serbest su kaybı için bir kanal görevi görmesidir (Wang vd. , 2021). SD içermeyen betonun kuruma büzülmesi Şekil 4.9a'da gösterilmiştir. Şekil 4.9a'da gösterildiği gibi, çimento içeriğindeki artışın tüm kuruma süreleri boyunca numunelerin büzülmesini önemli ölçüde azalttığı kesinlikle açıktır. Diğer yandan köpük içeriğindeki artış kuruma büzülmesini artırmıştır. Çimento içeriği 300 kg/m^3 ve 500 kg/m^3 ve köpük içeriği 20 kg/m^3 olan karışımlar için 5032×10^{-6} ve $7065 \times 10^{-6} \text{ mm/mm}$ en düşük ve en yüksek büzülme değerleri elde edilmiştir. Çimento içeriğinin SD içermeyen karışımların büzülmesine etkisi çok önem göstermektedir ve 20 kg/m^3 köpük içeriğinde çimento içeriği 300 kg/m^3 'ten 500 kg/m^3 'e değiştiğinde %28,77 azalma göstermiştir. Büzülme, basınç dayanımı gelişiminden önemli ölçüde etkilendiğinden, bu azalma çimento içeriğindeki artışa bağlı olarak basınç dayanımı artışına bağlanabilmektedir. Diğer yandan, artan köpük içeriği ile büzülme de artmıştır. 500 kg/m^3 çimento içeriğinde, köpük içeriği 20 kg/m^3 'den 60 kg/m^3 'e değiştirildiğinde büzülme %13,45 artmıştır. Bu, artan köpük içeriğine bağlı olarak porozitenin artması ve bunun sonucunda daha fazla suyun buharlaşmasına ve büzülme artışına neden olması ile açıklanabilmektedir. SD'li betonun kuruma büzülmesi Şekil 4.9b'de gösterilmiştir. Şekil 4.9b'de gösterildiği gibi, kuruma büzülmesi değerleri, SD içermeyen karışımların aksine ilk 35 gün boyunca artmaya devam etmektedir. SD ilavesi ile SD içermeyen karışımlara kıyasla daha yüksek büzülme değerlerinin geliştiği kesinlikle açıktır, ancak çimento içeriğindeki artış tüm kuruma süreleri boyunca numunelerin büzülmesini önemli ölçüde azaltmıştır. Köpük içeriğindeki artış aynı zamanda kuruma büzülmesini de arttırmıştır. SD ilavesiyle büyük kuruma büzülmesi artışı, SD'nin yüksek puzolanik reaktivitesi ve

güçlü gözenek boyutu arıtma etkisine veya SD betonunda güçlü kendi kendine kuruma ve yetersiz suya bağlanabilmektedir (Al-Amoudi vd. , 2007; Rao, 2001). En düşük ve en yüksek büzülme değerleri sırasıyla 6624×10^{-6} ve 8012×10^{-6} mm/mm çimento içerikleri 300 kg/m^3 ve 500 kg/m^3 ve köpük içeriği 60 kg/m^3 olan karışımlar için elde edilmiştir. Sonuçlar, SD içermeyen karışımların büzülmesinin aksine en yüksek ve en düşük büzülmenin en yüksek köpük içeriğinde meydana geldiğini göstermiştir. Çimento içeriğinin SD'li karışımların büzülmesine etkisi çok önemlidir ve 60 kg/m^3 köpük içeriğinde çimento içeriği 300 kg/m^3 'ten 500 kg/m^3 'e değiştirildiğinde %16,74 azalma sağlamıştır. 500 kg/m^3 çimento içeriğinde, köpük içeriği 20 kg/m^3 'ten 60 kg/m^3 'e değiştirildiğinde büzülme %4,28 azalmaktadır.



a)



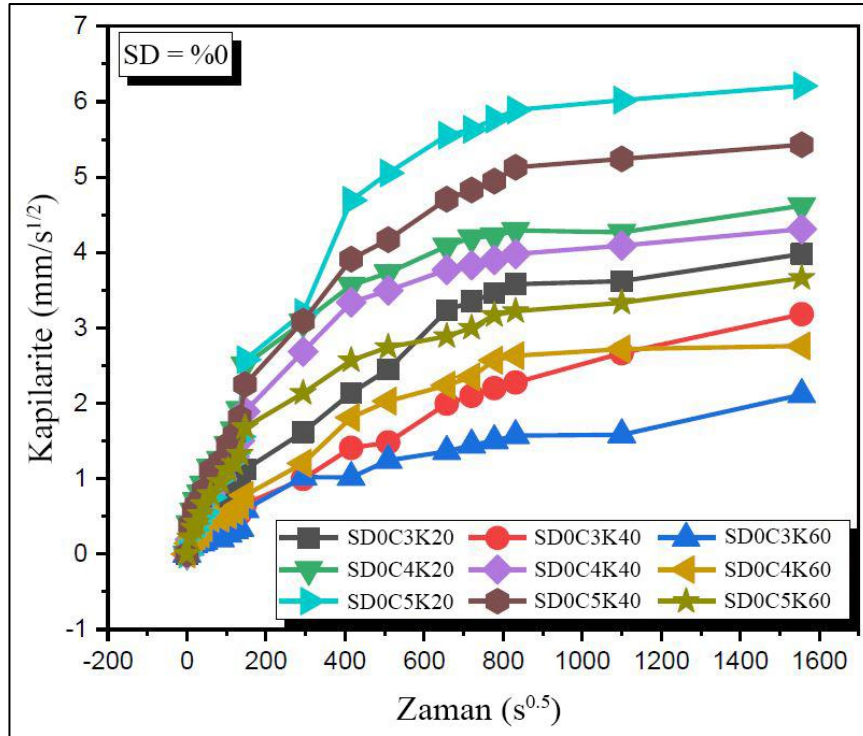
b)

Şekil 4.9 Kuruma büzülmesi a) SD = %0 b) SD = %20

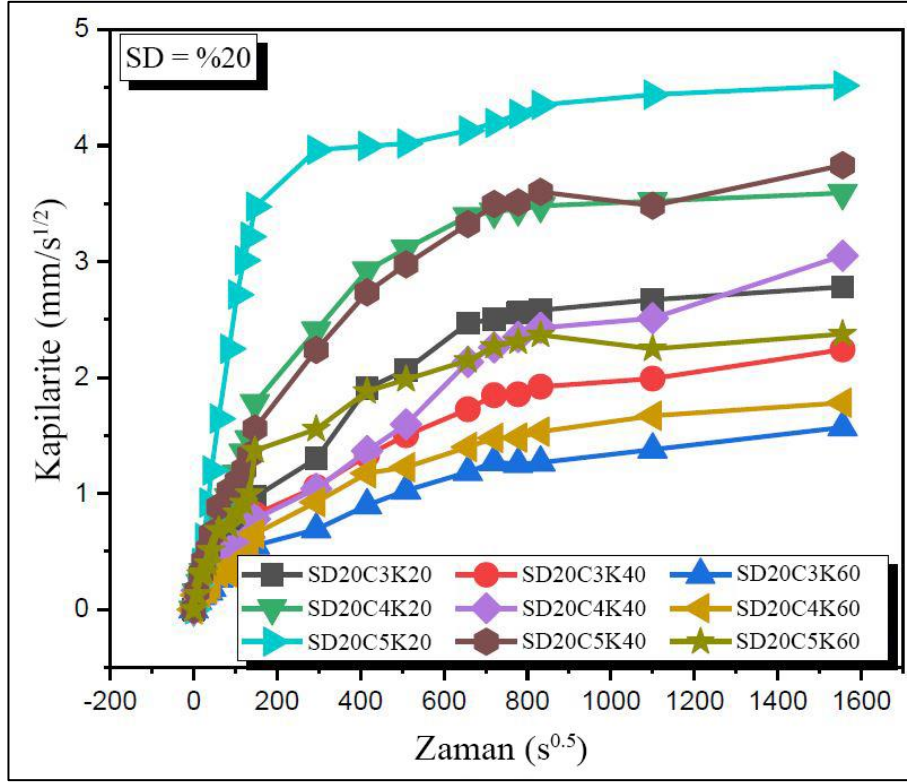
4.3.6 Kapilerite

Farklı köpük, çimento ve SD içeriklerine sahip 28 günlük betonların kapileriteleri Şekil 4.10'de gösterilmiştir. Şekil 4.10a-b'de gösterildiği gibi, SD içeren ve içermeyen karışımlar, sırasıyla 60 kg/m^3 ve 20 kg/m^3 köpük içeriklerinde 300 kg/m^3 ve 500 kg/m^3 çimento içeriklerinde en yüksek ve en düşük kapilerite değerlerine sahiptir. SD katkılı karışımlar daha kompakt ve yoğun yapıya sahip olduklarından, SD içermeyen karışımlara göre daha düşük kapilerite değerlerine sahiptirler. SD içermeyen betonların kapileritesi Şekil 4.10a'da gösterilmektedir. Çimento içeriğindeki artışın kapileriteyi azalttığı ve 500 kg/m^3 çimento ve 20 kg/m^3 köpük içeren karışım için $2,116 \text{ mm/s}^{0.5}$ ile en düşük kapilerite değerini elde ettiği görülmüştür. Köpük içeriğindeki artış, kapileriteyi artırmış ve en yüksek kapilerite değerini $6,21 \text{ mm/s}^{0.5}$ ile 300 kg/m^3 ve 60 kg/m^3 köpük içeren karışım için elde edilmiştir. Çimento içeriği 300 kg/m^3 'ten 500 kg/m^3 'e ve köpük içeriği 60 kg/m^3 'ten 20 kg/m^3 'e değiştirildiğinde kapileritede en yüksek azalma %66 olarak bulunmuştur. SD'li betonun kapileritesi Şekil 4.10'da gösterilmektedir. SD içermeyen karışımlara benzer şekilde, çimento

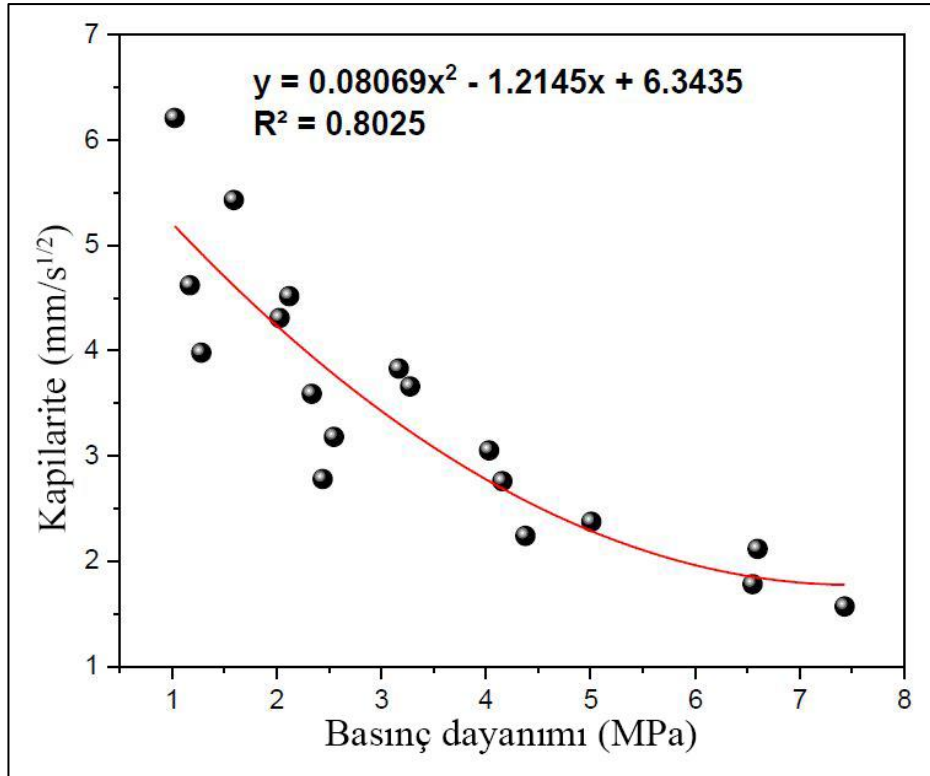
içeriği 500 kg/m^3 ve köpük içeriği 20 kg/m^3 olan karışım için çimento içeriğindeki artışın kapileriteyi azalttığı ve en düşük kapilerite değeri $1,57 \text{ mm/s}^{0.5}$ olduğu görülmüştür. Köpük içeriğindeki artış, kapileriteyi artmış ve en yüksek kapilerite değeri $4,52 \text{ mm/s}^{0.5}$ olan çimento içeriği 300 kg/m^3 ve köpük içeriği 60 kg/m^3 olan karışım için elde edilmiştir. Çimento içeriği 300 kg/m^3 'ten 500 kg/m^3 'e ve köpük içeriği 60 kg/m^3 'ten 20 kg/m^3 'e değiştirildiğinde kapileritede en yüksek azalma $65,26$ olarak bulunmuştur. Çok benzer bir azalma bulunmuştur. SD'nin dahil edilmesiyle, %27,21 ve 25,59'luk bir kapilerite azalması, SD içeren ve içermeyen karışımların en yüksek ve en düşük kapileritesi ile karşılaştırıldığında elde edilmiştir. SD partikülleri, çimento partiküllerinden 100 kat daha küçük olduğu için, matriste serbest sudan oluşan hidratlı çimento partikülleri arasındaki boşluğu kaplarlar, bu da çok daha yoğun gözenekli bir mikro yapı ve daha düşük kapilerite ile sonuçlanmaktadır (Hatungimana vd. , 2019). Şekil 4.10c'de gösterildiği gibi, sırasıyla 30 ve 60 D-Ç döngüsünden sonra 0,80'lik R^2 ile basınç dayanımı ve kapilerite arasında çok iyi bir korelasyon olduğu bildirilebilmektedir. Azalan kapilerite değerleri ile basınç dayanımının arttığı gözlemlenmiştir.



a)



b)



c)

Şekil 4. 10 Kapilarite değeri 28 gün a) SD = %0 b) SD = %20 c) Basınç dayanımı ve kapilarite arasındaki ilişki

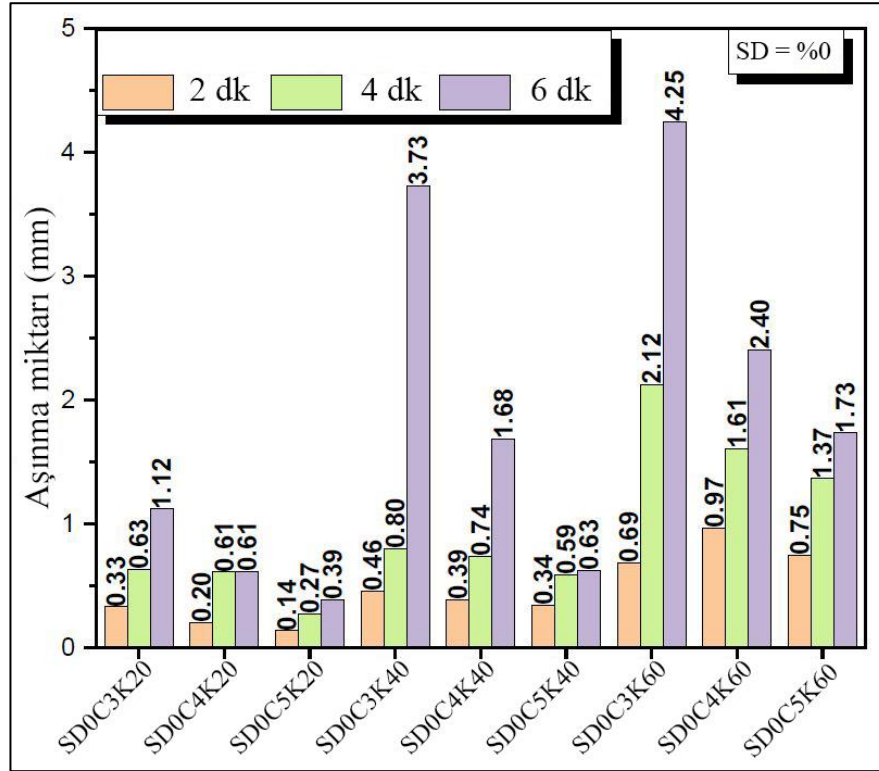
4.3.7 Durabilite Özellikleri

4.3.7.1 Aşınma direnci

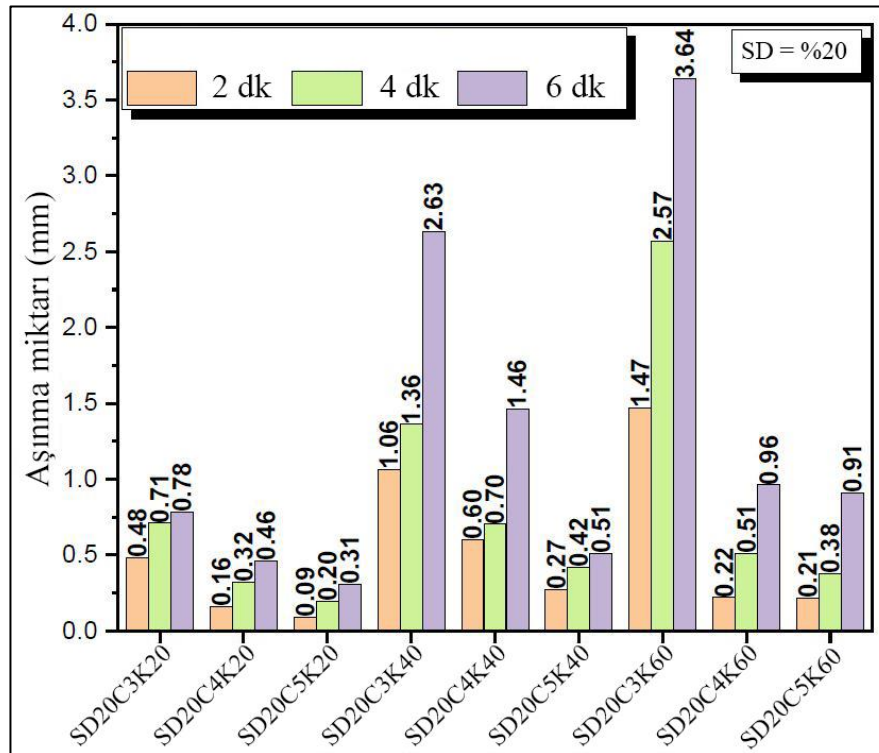
Farklı köpük, çimento ve SD içeriklerine sahip 28 günlük kür betonunun aşınma derinliği açısından aşınma süresine göre aşınma direnci Şekil 12’de gösterilmiştir. Her iki SD içeriğinde de karışımların aşınma direncinin artan çimento içeriği ile arttığı ve artan köpük içeriği ile azaldığı Şekil 4.11’de açıkça görülmüştür. SD karışumlu karışımlar, SD içermeyen karışımlara göre daha yüksek aşınma direnci göstermiştir. Sonuçlar Kang vd. ,(2012) tarafından yapılan çalışmanın sonuçları ile uyumlu olduğu gözlemlenmiştir. SD ilavesi ile atık lastikli betonun aşınma direncini ve basınç dayanımının arttırdığını bildirmişlerdir. Kauçuk agrega ilavesinin betonun basınç dayanımını azalttığını ancak aşınma direncini arttırdığını bildirmişlerdir. SD ilavesi ile atık lastikli betonun hem basınç dayanımı hem de aşınma direnci arttırmıştır.

SD içermeyen betonların aşınma derinliği Şekil 4.11a’da gösterilmektedir. Belirtildiği gibi, çimento içeriğindeki artışın aşınma derinliğini azalttığı ve 500 kg/m^3 ve 20 kg/m^3 köpük içeren karışım için 2, 4 ve 6 dakika maruziyette sırasıyla 0,14; 0,27 ve 0,39 mm ile en düşük aşınma derinliği değerlerini elde ettiği gözlenmiştir. Köpük içeriğindeki artış, aşınma derinliğini arttırmış ve en yüksek aşınma derinliği değerleri olan 0,69; 2,12 ve 4,25 mm’yi sırasıyla 2, 4 ve 6 dakikalarda 300 kg/m^3 çimento içeriği ve 60 kg/m^3 köpük içeriği içeren karışım için elde edilmiştir. SD’li betonların aşınma derinliği Şekil 4.11b’de gösterilmektedir. SD’li karışımlar, SD’siz karışımlara göre daha erken aşınma derinliği değerlerine sahip olmuştur ancak daha sonraki aşınma süresinde, SD karışumlu karışımlar daha düşük aşınma derinliği değerlerine sahip olmuştur. Ayrıca çimento içeriğindeki artışın aşınma derinliğini azalttığı ve en düşük aşınma derinliği değerleri olan 0,09; 0,20 ve 0,31 mm’nin sırasıyla 2, 4 ve 6 dakikalarda 500 kg/m^3 çimento içeriği ve 20 kg/m^3 köpük içeriği içeren karışım ile elde edildiği görülmüştür. Köpük içeriğindeki artış, aşınma derinliğini arttırmış ve en yüksek aşınma derinliği değerlerini 1,47; 2,57 ve 3,64 mm ile sırasıyla 2, 4 ve 6 dakikalarda 300 kg/m^3 çimento içeriği ve 60 kg/m^3 köpük içeriği içeren karışım ile elde edilmiştir. Numunelerin kuru birim ağırlığı ile aşınma direnci arasındaki ilişki Şekil 4.11c’de verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi kuru birim ağırlığı yüksek olan

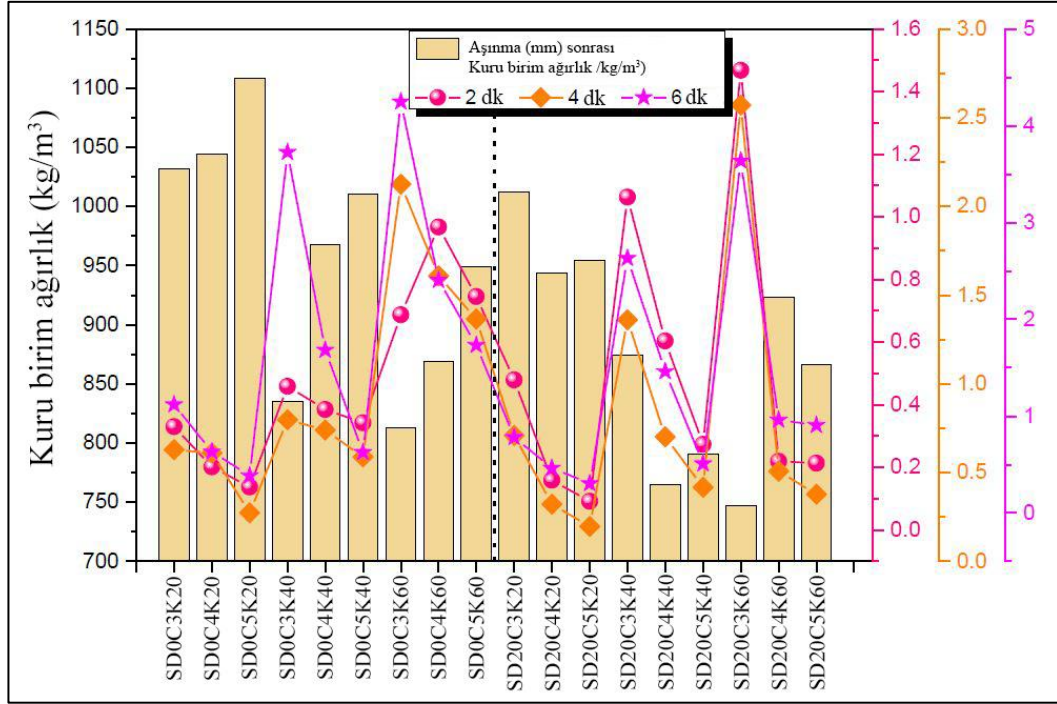
karışımların, kuru birim ağırlığı düşük olan karışımlara göre daha düşük aşınma derinliği gösterdiği gözlenmektedir.



a)



b)



c)

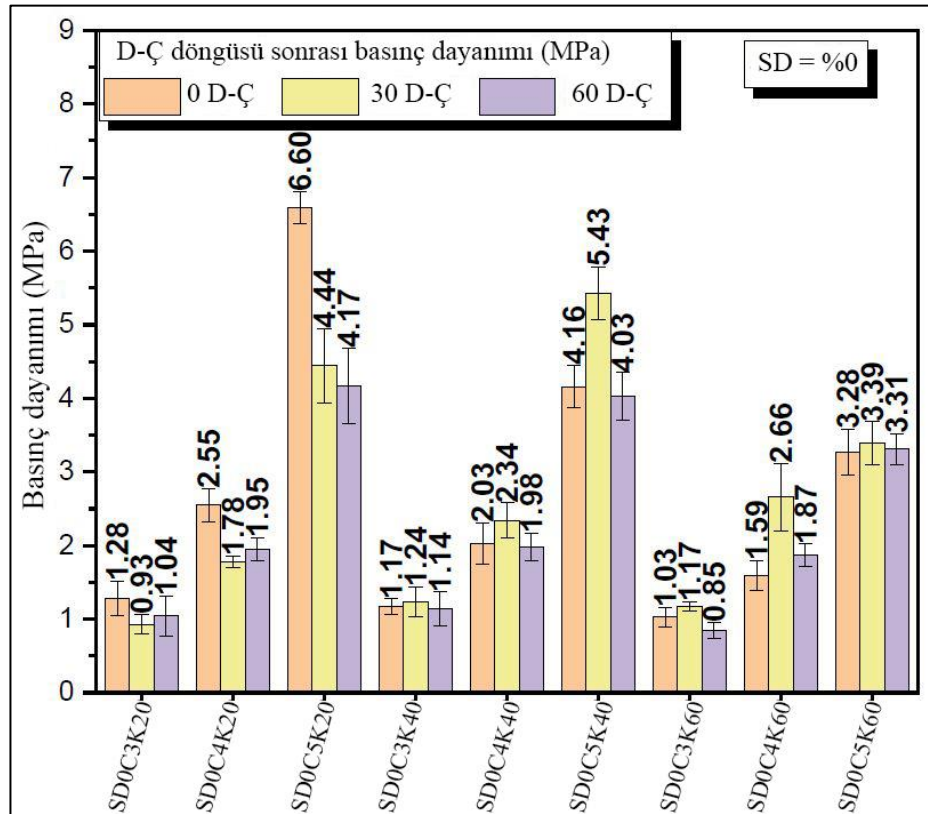
Şekil 4.11 Aşınma miktarı 28 gün a) SD = %0 b) SD = %20 c) Kuru birim ağırlık ve aşınma arası ilişki

4.3.8 Donma-Çözülme (D-Ç) Döngüleri

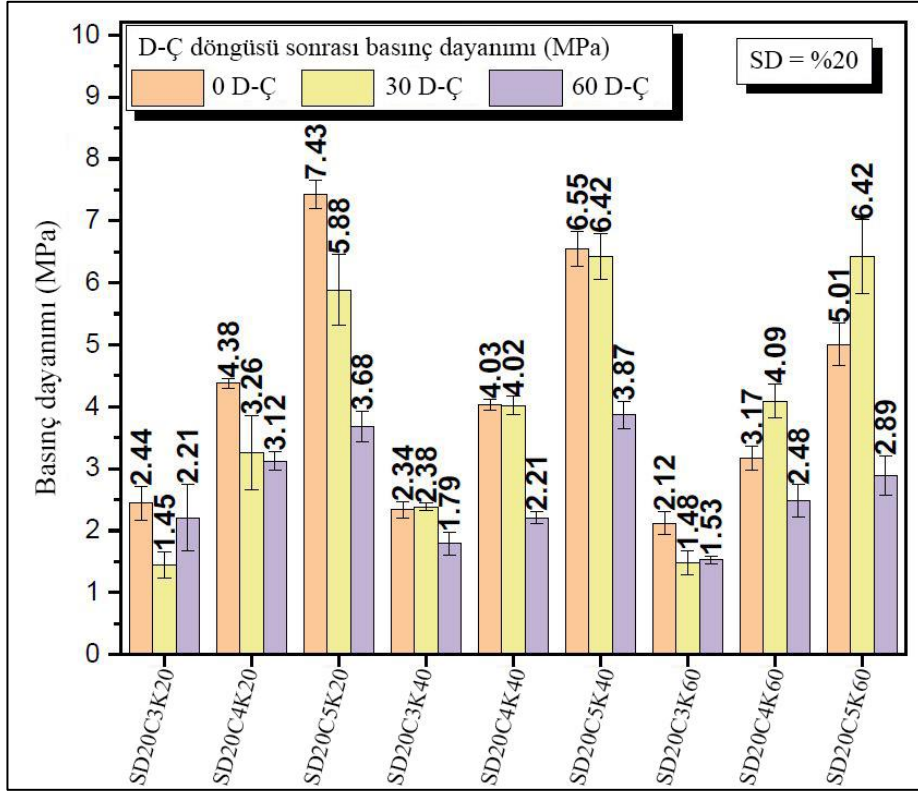
4.3.8.1 Basınç dayanımı

0, 30 ve 60 D-Ç döngüsünden sonra farklı köpük, çimento ve SD içeriklerine sahip köpük betonun basınç dayanımı Şekil 4.12a-b’de gösterilmiştir. Şekil 4.12c, 30 ile 60 D-Ç döngülerinden sonra basınç dayanımı değişimlerini göstermektedir. Birçok çalışma, kauçuk agrega içeren betonların, kauçuk agrega içermeyen betonlara göre, kauçuk ilavesiyle oluşan karışımlara hava katılması nedeniyle daha iyi D-Ç direncine sahip olduğu göstermiştir. Atık lastikli beton, hava sürüklenen betona benzer performans göstermektedir (Paine vd. , 2002; Savas vd. , 1997; Siddique ve Naik, 2004). Şekil 4.12’de görüldüğü gibi, artan porozite nedeniyle artan köpük içeriği ile karışımlar daha iyi D-Ç direnci göstermiştir ve hatta bazı karışımlar D-Ç döngülerinden sonra basınç dayanımı artışına sahip olduğu gözlenmiştir. Beklendiği gibi, SD ilave edilmiş karışımlar daha kompakt ve yoğun bir yapıya sahip olduğu gözlenmiştir. SD ilavesi, Şekil 4.12c’de gösterildiği gibi SD içermeyen karışımlarla karşılaştırıldığında D-Ç direncini olumsuz etkilediği gözlenmiştir. Artan köpük içeriği

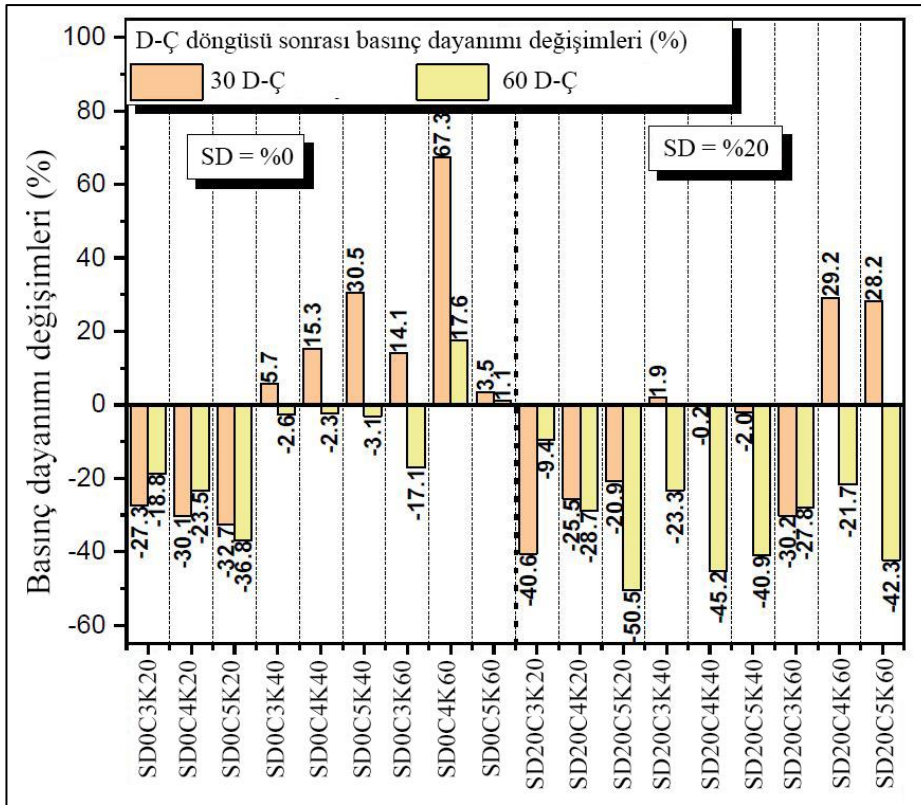
ile SD'nin D-Ç direnci üzerindeki olumsuz etkisini azaldığı gözlenmiştir. SD içermeyen karışımlar, 400 kg/m³ çimento içeriği ve 60 kg/m³ köpük içeriğinde 30 ve 60 D-Ç döngüsünden sonra %67,3 ve 17,6'lık en yüksek dayanım artışına sahip olduğu gözlemlenmiştir. Çimento içeriğindeki artışın karışımların D-Ç direncini de etkilediği görülmektedir ve SD içermeyen ve çimento içeriği 500 kg/m³ ve düşük köpük içeriği 20 kg/m³ olan karışımlar D-Ç maruziyetinden sonra en yüksek dayanım kaybını sergilemiştir. SD'li karışımlar için de benzer sonuçlar elde edilmiştir ve SD'li ve çimento içeriği 500 kg/m³ ve düşük köpük içeriği 20 kg/m³ olan karışımlar D-Ç'ye maruz kaldıktan sonra en yüksek dayanım kaybı göstermiştir.



a)



b)

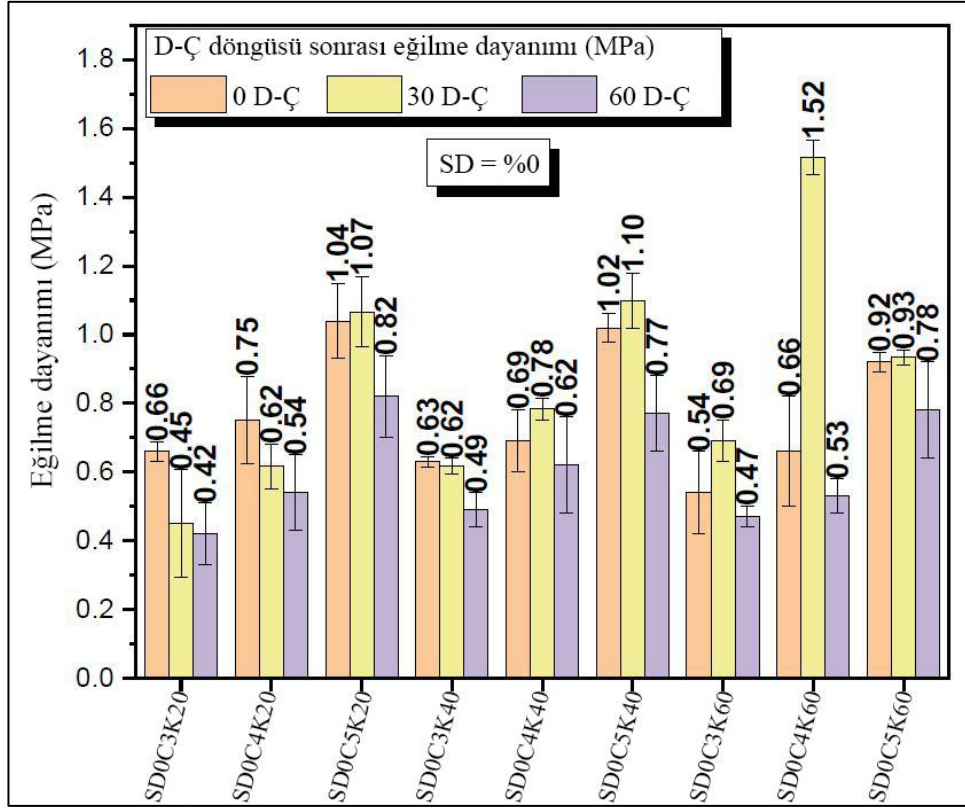


c)

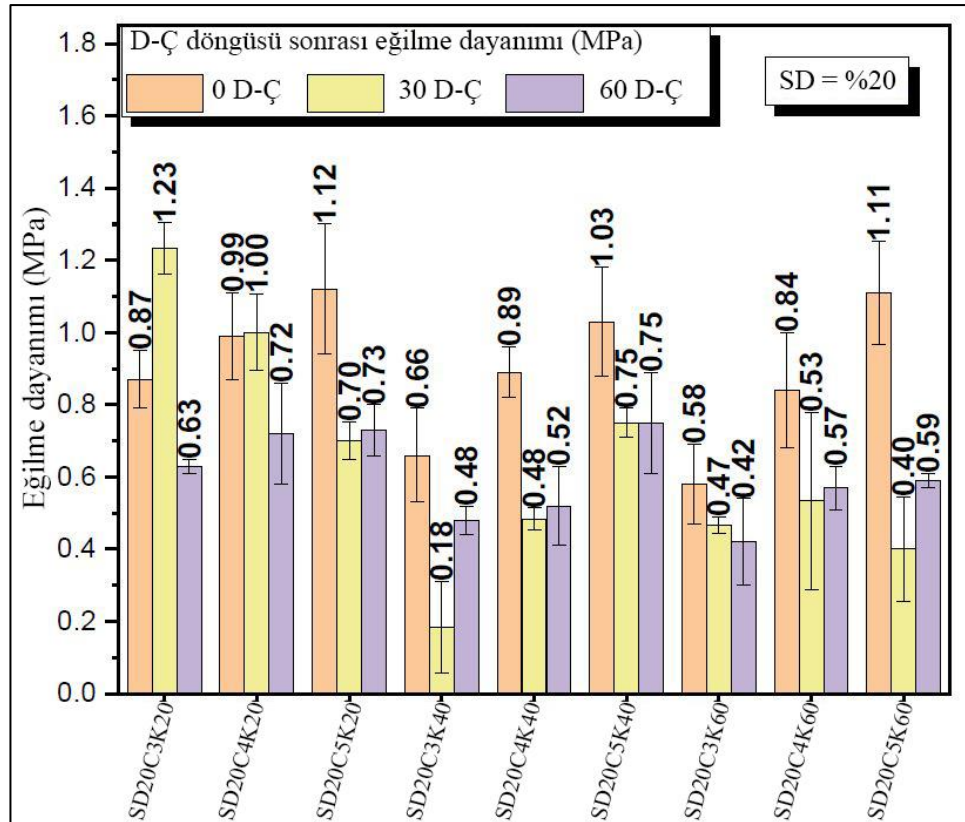
Şekil 4.12 a-b) Basınç dayanımı sonuçları c) D-Ç döngüsü sonrası basınç dayanımı değişiklikleri (%)

4.3.8.2 Eğilme dayanımı

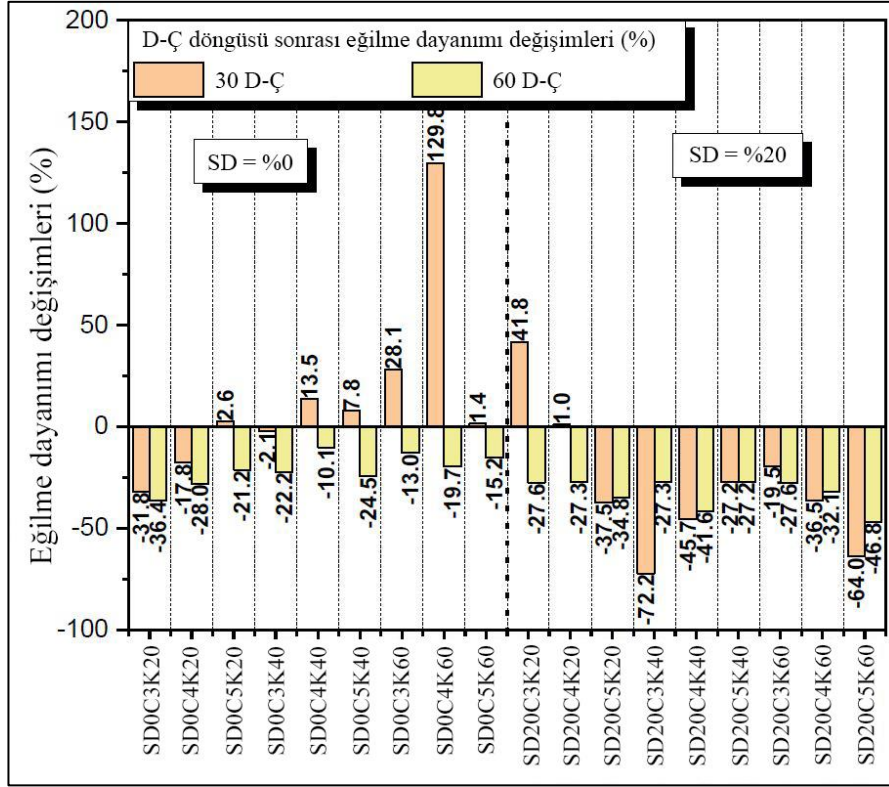
0, 30 ve 60 D-Ç döngüsünden sonra farklı köpük, çimento ve SD içeriklerine sahip köpük betonun eğilme dayanımı Şekil 4.13a-b'de gösterilmiştir. Şekil 4.13c, 30 ile 60 D-Ç döngülerinden sonra eğilme dayanımı değişimlerini göstermektedir. Şekil 4.13a'da görüldüğü gibi, SD içermeyen karışımlar artan porozite nedeniyle köpük içeriğinin artmasıyla daha iyi D-Ç direnci göstermiştir ve 30 D-Ç döngüsünden sonra özellikle 40 kg/m³ ve 60 kg/m³ köpük içeriklerinde mukavemet geliştirmeleri sağlandığı gözlenmiştir. 400 kg/m³ çimento içeriği ve 60 kg/m³ köpük içeriği içeren karışım, Şekil 4.13c'de gösterildiği gibi 30 D-Ç döngüsünden sonra %129,8 mukavemet artışı kazandığı gözlenmiştir. Bu mukavemet artışı, Aghaeipour ve Madhkhan (2017) tarafından belirtildiği gibi D-Ç döngüleri altında olmayan karışımlardan daha uzun kürlenme süresi ile açıklanabilmektedir. Basınç dayanımı davranışına benzer şekilde, SD ilave edilmiş karışımlar, Şekil 4.13c'de gösterildiği gibi SD içermeyen karışımlardan daha kötü D-Ç direnci göstermiştir. SD içermeyen karışımlar, 300 kg/m³ çimento içeriği ve 40 kg/m³ köpük içeriğinde 30 döngüden sonra %72,2 ile en yüksek dayanım azalmasına sahip olduğu gözlenmiştir. Çimento içeriğindeki artışın karışımların D-Ç direncini de etkilediği ve SD içermeyen ve çimento içeriği 500 kg/m³ ve düşük köpük içeriği 60 kg/m³ olan karışımların 60 D-Ç döngüsünden sonra en yüksek dayanım kaybını sergiledikleri gözlemlenmiştir.



a)



b)



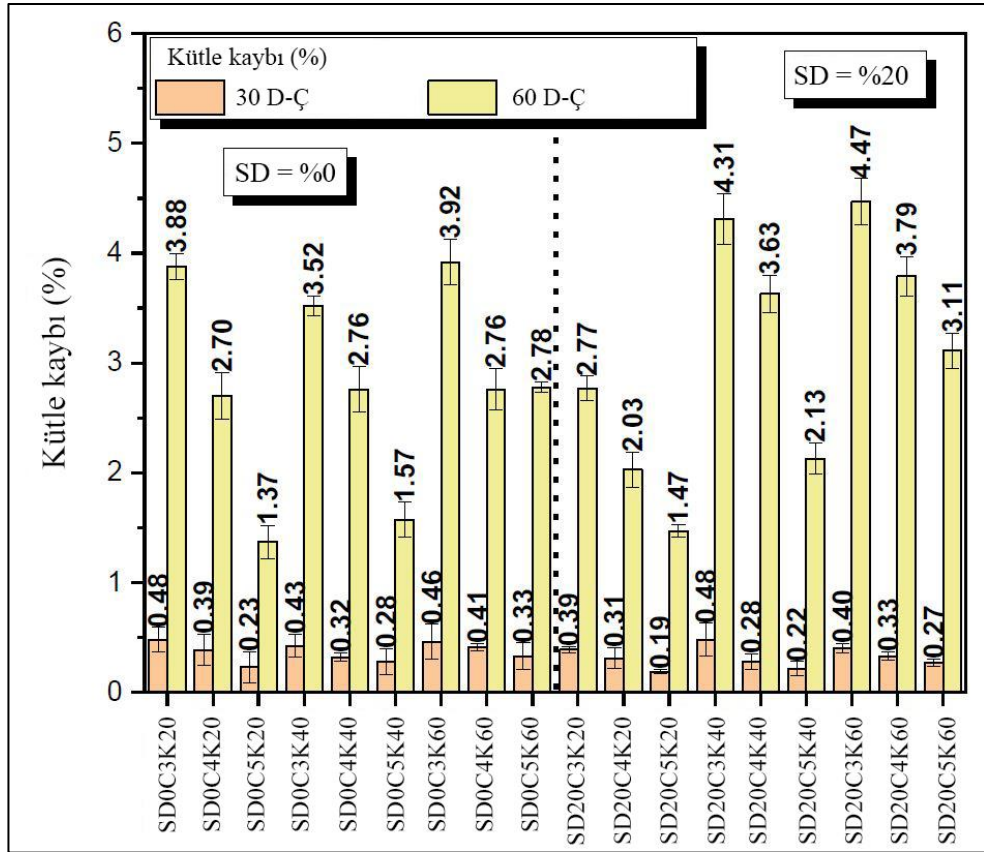
c)

Şekil 4.13 a-b) Eğilme dayanımı sonuçları c) D-Ç döngüsü sonrası eğilme dayanımı değişiklikleri (%)

4.3.8.3 Kütle kaybı

30 ve 60 D-Ç döngüsünden sonra farklı köpük, çimento ve SD içeriklerine sahip 28 günlük betonların kütle kaybı Şekil 4.14'te gösterilmiştir. Şekil 4.14'te görüldüğü gibi, tüm karışımlar %1'in altında kütle kaybı sergilemiştir ve kütle kaybı, artan çimento içeriği ile azalmıştır fakat artan köpük içeriği ile artmıştır. SD içermeyen ve 300 kg/m³ ve 500 kg/m³ çimento içeriği ve 20 kg/m³ köpük içeriği içeren karışım, 30 D-Ç'den sonra sırasıyla %0,48 ile en yüksek kütle kaybına ve %0,23 ile en düşük kütle kaybına sahip olduğu gözlenmiştir. SD içermeyen ve 300 kg/m³ çimento ve 60 kg/m³ köpük içeren karışım %3,92 ile en yüksek kütle kaybına sahipken, SD içermeyen ve 500 kg/m³ çimento ve 20 kg/m³ köpük içeren karışım en yüksek kütle kaybına sahip olduğu gözlenmiştir. 60 D-Ç'den sonra %1,37 ile en düşük kütle kaybına sahip olduğu gözlenmiştir. Çimento içeriği 500 kg/m³ ve düşük köpük içeriği 20 kg/m³ olan karışımın %0 SD içeriğinde kütle kaybı açısından en iyi D-Ç direncini gösterdiği sonucuna varılabilmektedir. Çimento içeriği 500 kg/m³ ve köpük içeriği 20 kg/m³ olan

SD içeren karışım, 30 ve 60 D-Ç'den sonra sırasıyla %0,19 ve 1,47 ile en düşük kütle kaybına sahip olduğu gözlenmiştir. SD'li ve 300 kg/m³ çimento ve 60 kg/m³ köpük içeren karışım 60 D-Ç'den sonra %4,47 ile en yüksek kütle kaybına ve 300 kg/m³ çimento ve 40 kg/m³ köpük içeren karışım 30 D-Ç'den sonra %0,48'lik en yüksek kütle kaybına sahip olduğu gözlenmiştir. Çimento içeriği 500 kg/m³ olan karışımın, her köpük içeriğinde kütle kaybı açısından en iyi D-Ç direncini göstermiştir.

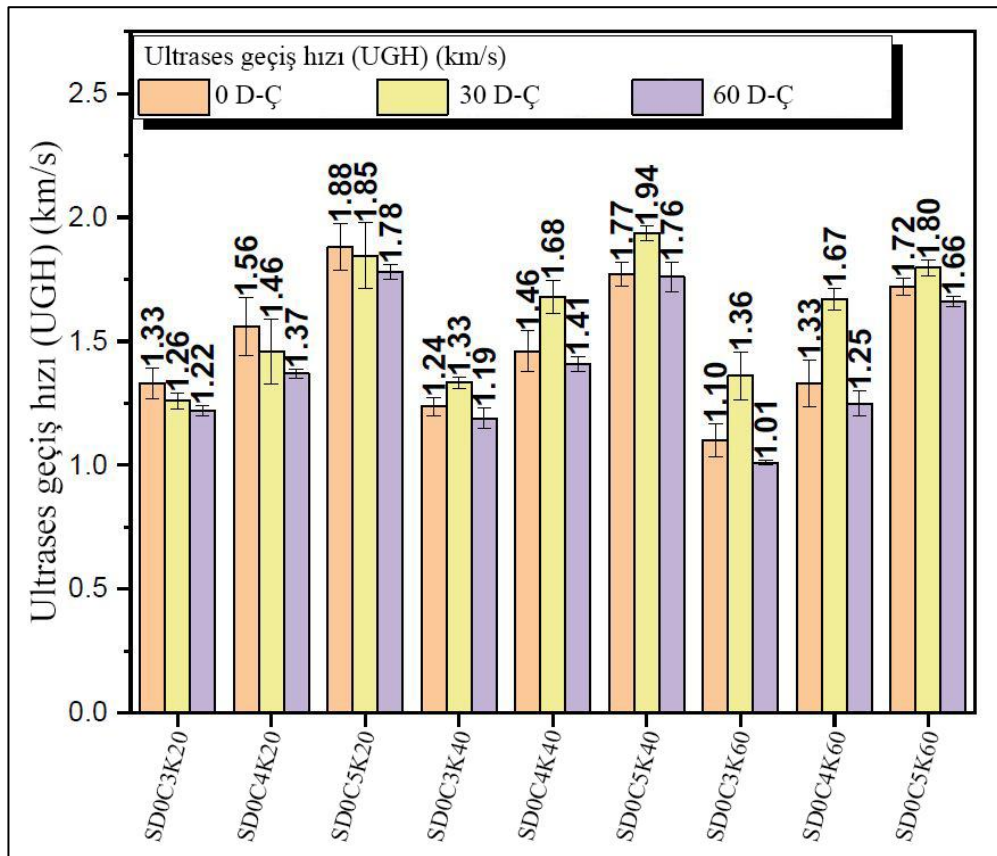


Şekil 4.14 Donma Çözünme sonrası kütle kaybı

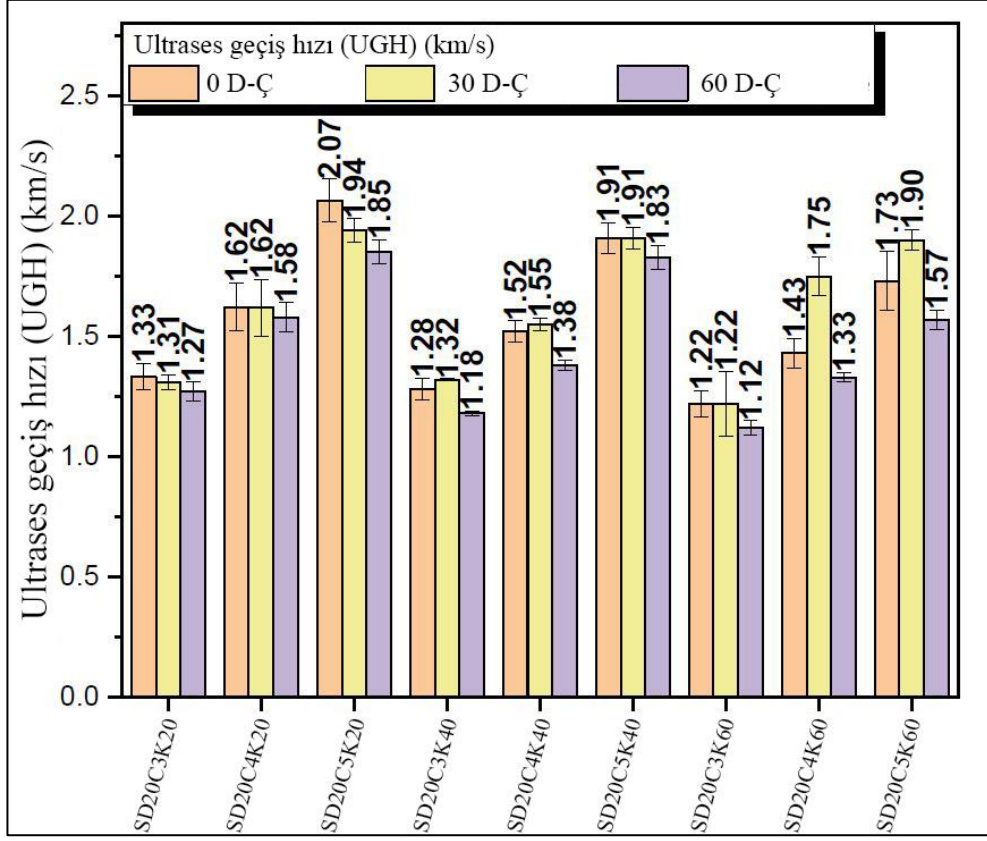
4.3.8.4 D-Ç maruziyeti sonrası UGH değişimleri

Agresif kimyasal ortam, donma ve çözülme bozulması, çatlama ve diğer kusurlar gibi betondaki değişiklikleri tespit etmek için kullanılabilen UGH yöntemi, beton kalitesini değerlendirmek için tahribatsız bir yöntemdir (Karagöl vd. , 2018). 0, 30 ve 60 D-Ç döngüsünden sonra farklı köpük, çimento ve SD içeriklerine sahip köpük betonun UGH sonuçları Şekil 4.15a-b'de gösterilmiştir. Şekil 4.15c, 30 ile 60 D-Ç döngülerinden sonra UGH değişimlerini göstermektedir. Basınç dayanımı değişimlerine benzer şekilde, artan köpük içeriği ile daha yüksek UGH değerleri

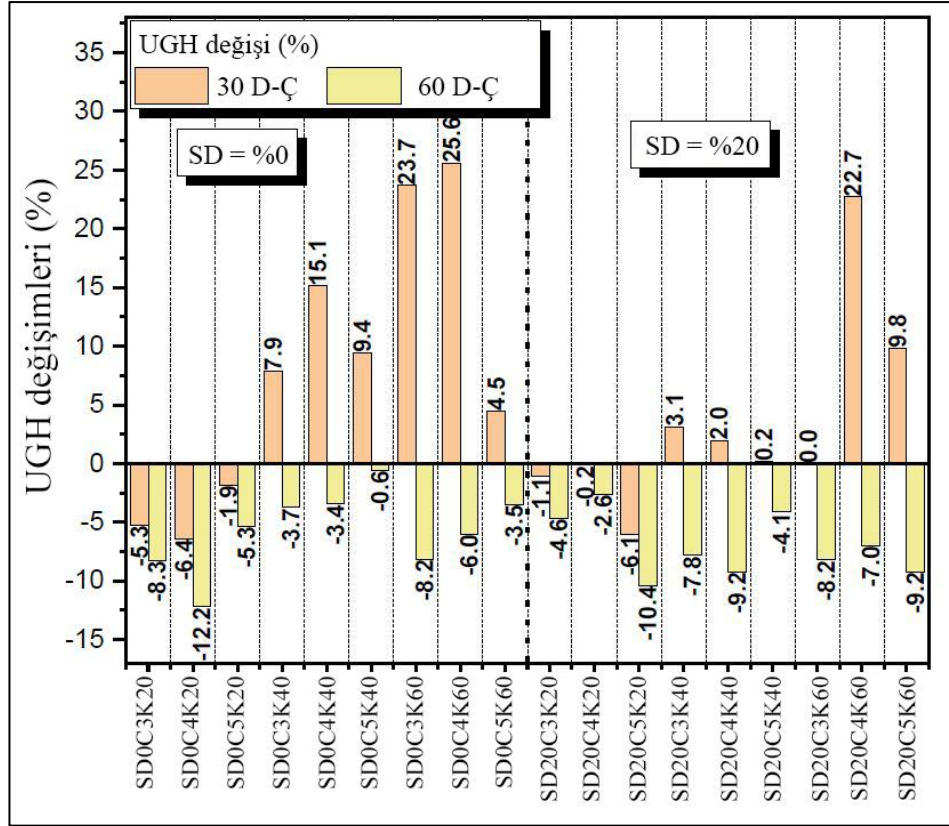
göstermiştir. %25,6 ile en yüksek UGH artışı, basınç dayanımına benzer şekilde çimento içeriği 400 kg/m^3 ve köpük içeriği 60 kg/m^3 olan karışımlar için 30 D-Ç döngüsünden sonra elde edilmiştir. Çimento içeriği 500 kg/m^3 ve köpük içeriği 60 kg/m^3 olan karışım, en düşük UGH düşüşü %0,6 ile 60 D-Ç döngüsünden sonra en iyi UGH sonucunu vermiştir. SD ilavesi ile daha kompakt ve yoğun yapıdan kaynaklanan D-Ç döngülerinden sonra daha fazla bozulma meydana geldiğinden, SD ilave edilmiş karışımları SD içermeyen karışımlara göre daha fazla UGH azaltımına sahip olduğu gözlenmiştir. UGH'deki en yüksek azalma, basınç dayanımı durumunda olduğu gibi çimento içeriği 500 kg/m^3 ve düşük köpük içeriği 20 kg/m^3 olan karışımda elde edilmiştir. Şekil 4.15c'de gösterildiği gibi, sırasıyla 30 ve 60 D-Ç döngüsünden sonra 0,84 ve 0,91 R^2 ile basınç dayanımı ve UGH arasında çok iyi bir korelasyon olduğu bildirilebilmektedir.



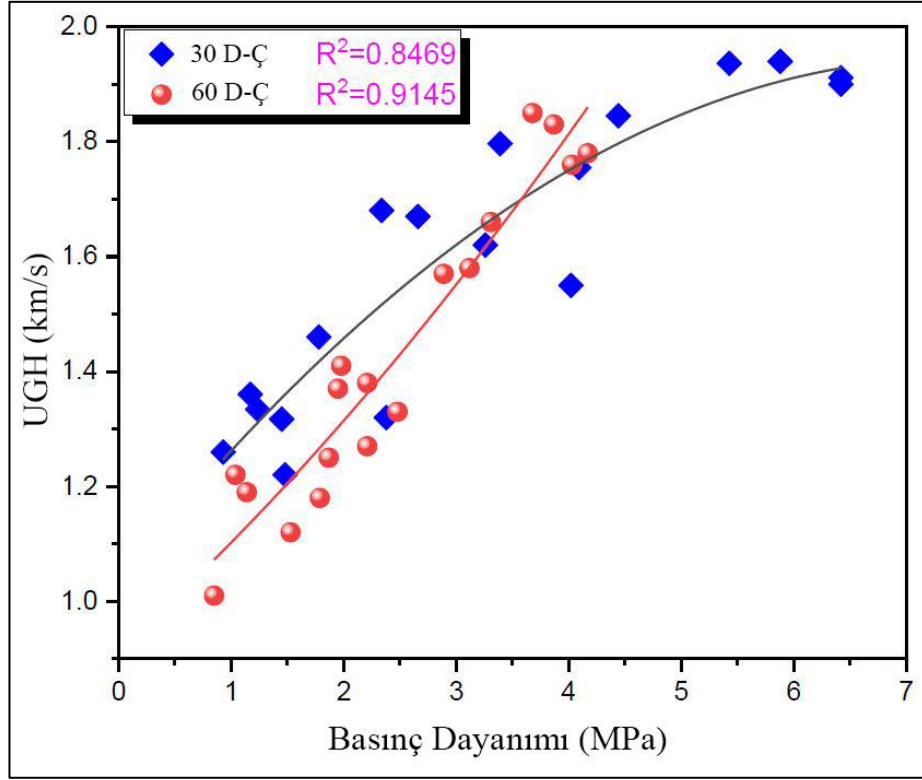
a)



b)



c)



d)

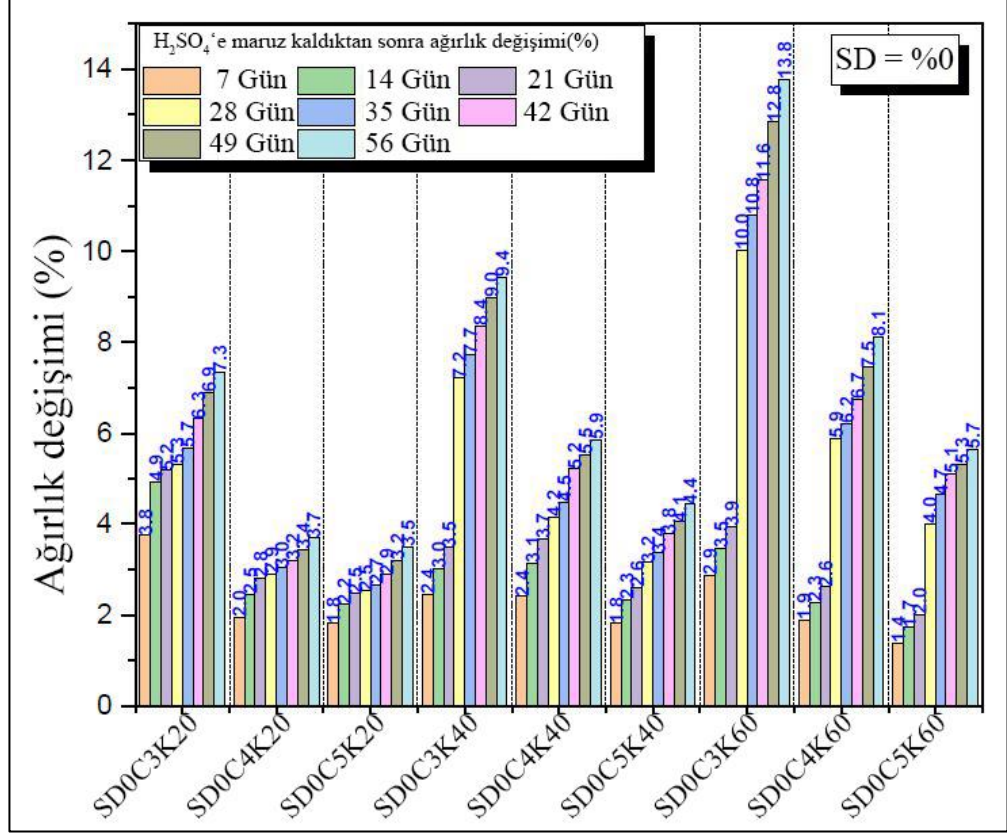
Şekil 4.15 a-b) Ultrases geçiş hızı sonuçları c) UGH'deki değişimler (%) d) D-Ç döngülerinden sonra UGH'ye karşı basınç dayanımı

4.3.9 Asit Etkisi

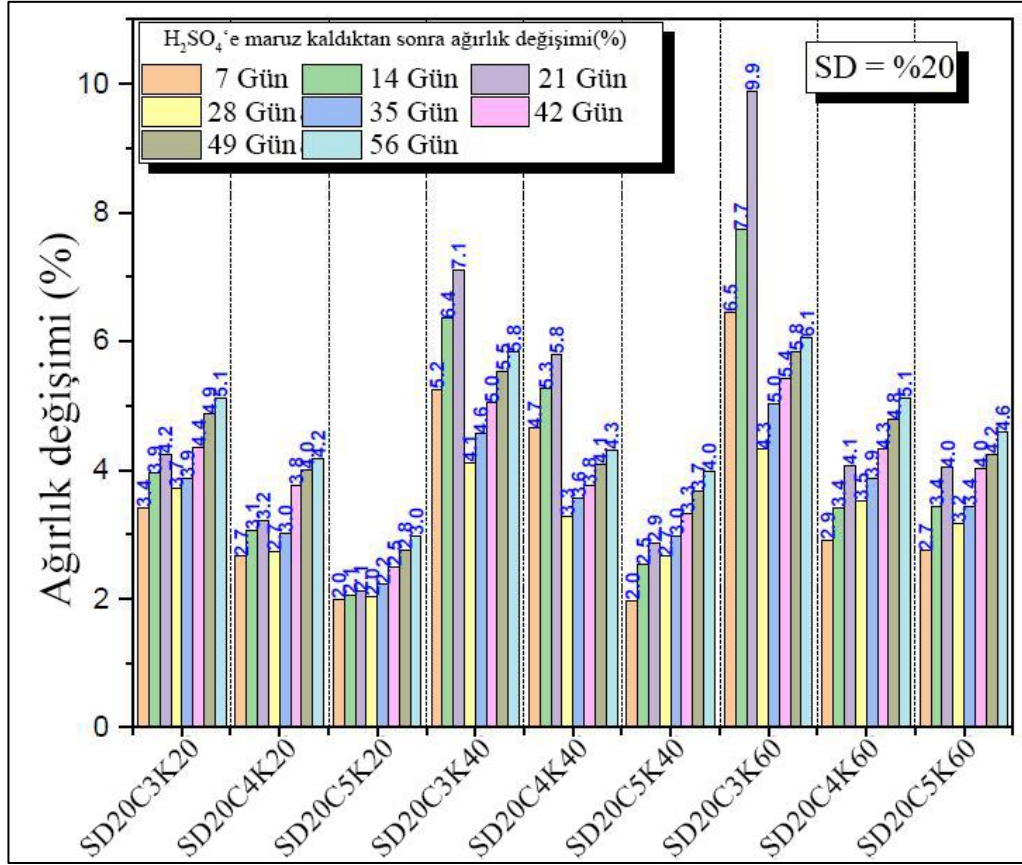
4.3.9.1 Ağırlık kaybı

Sülfürik aside maruz kaldıktan sonra farklı köpük, çimento ve SD içeriklerine sahip köpük beton numunelerinin ağırlıklarındaki değişim Şekil 4.16'da gösterilmiştir. Aynı Şekil 4.16a'dan, SD içermeyen tüm karışımların, %3 sülfürik asit çözeltilerinde artan maruz kalma süresi ile sürekli bir ağırlık artışı gösterdiği ancak SD içeren karışımlar için ağırlık artışının 28 günde düştüğü ve ardından 56 gün maruziyet süresine kadar tekrar arttığı gözlemlenmiştir. SD'li ve SD'siz her iki karışım için ağırlık artışının çimento içeriğinin artmasıyla azaldığı ancak köpük içeriğinin artmasıyla arttığı gözlemlenmiştir. İlginç bir sonuç, SD içermeyen ve 60 kg/m³ köpük içeren karışımların, 28 gün sonra 400 kg/m³ ve 500 kg/m³ çimento içeriğinde dramatik bir ağırlık artışı gösterdiği gözlemlenmiştir. Sülfürik asit çözeltisindeki ağırlık artışı, çimentonun sürekli hidrasyonu, alçı ve etrenjit oluşumuna yol açan sülfat iyonlarının etkisi ve numunelerde emilen sudaki artış gibi bir dizi faktöre bağlanabilmektedir. 28

günde ağırlık kaybı, sülfatın neden olduğu iyonların etkisinden sonra gelen hidrojen iyonlarının neden olduğu çözünmeye bağlı olabilmektedir (Makhloufi vd. , 2012). Şekil 4.16c'den de daha fazla kütle kaybı gösteren beton numunelerinin yüzeylerinde daha fazla erzyon olduğu gözlenmiştir.



a)



b)

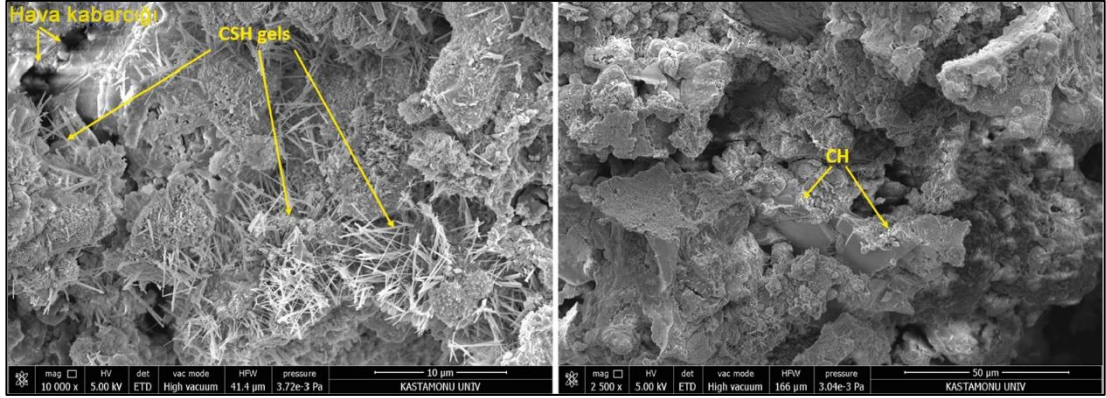


c)

Şekil 4. 16 Asit saldırısından sonra ağırlıktaki değişimi a) SD = %0 b) SD = %20 c) Asite maruz bırakılmış numuneler

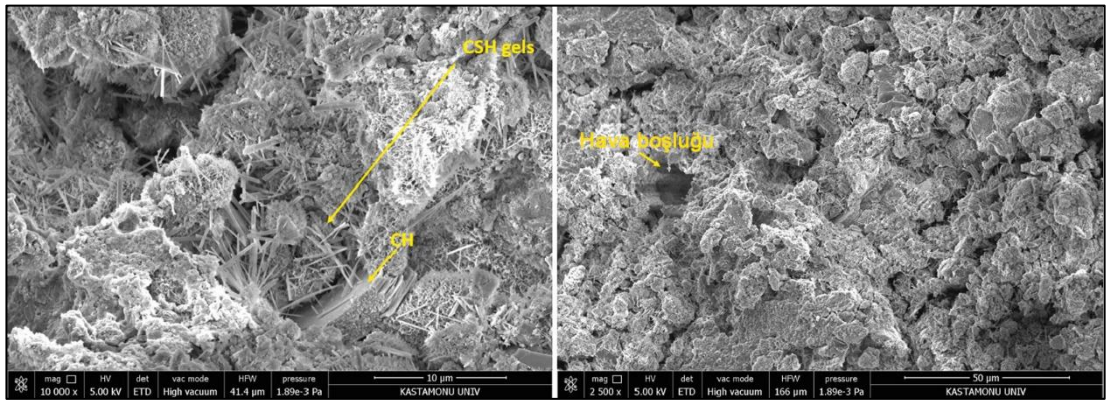
4.3.10 Mikroyapı Analizi

Şekil 4.17, SD0C3K20 karışımının SEM resimlerini göstermektedir. Köpük ajanın etkisiyle küresel hava kabarcıkları görülmektedir. Macun içerisinde çok sayıda hava kabarcığı olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca SEM görüntülerinde CSH jelleri ve CH plakaları gözlenmiştir.



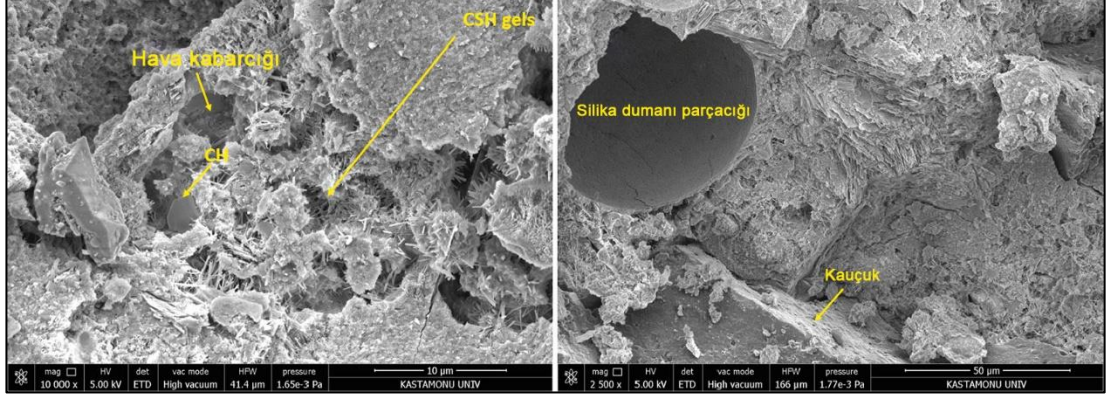
Şekil 4.17 28 gün boyunca suda kürlenmiş SD0C3K20'nin SEM görüntüleri

Şekil 4.18'de çimento içeriği 400 kg/m^3 ve köpük yoğunluğu 40 kg/m^3 olan SD0C4K40 karışımının SEM görüntüleri gösterilmiştir. Köpük betonlarda çimento içeriğinin artmasıyla yoğun bir CSH jeli oluştuğu gözlenmiştir. SD0C4K40 karışımına çok sayıda küresel hava kabarcığının da dahil olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca çimento içeriğinin artmasıyla birlikte CH plakalarının oluşumu da artmıştır.



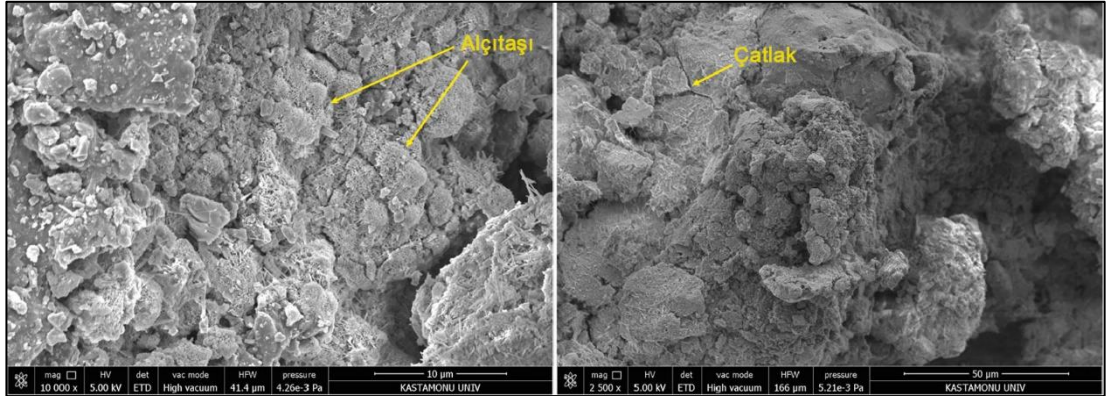
Şekil 4.18 28 gün boyunca suda kürlenmiş SD0C4K40'nin SEM görüntüleri

Şekil 4.19’da, çimento içeriği 500 kg/m^3 ve %20 SD içeren SD20C5K60 karışımının SEM görüntüleri gösterilmektedir. SD etkisiyle CSH jellerinin oldukça yoğun olduğu gözlenmiştir. Küresel hava kabarcıklarının birbirine yakın olduğu tespit edilmiştir.



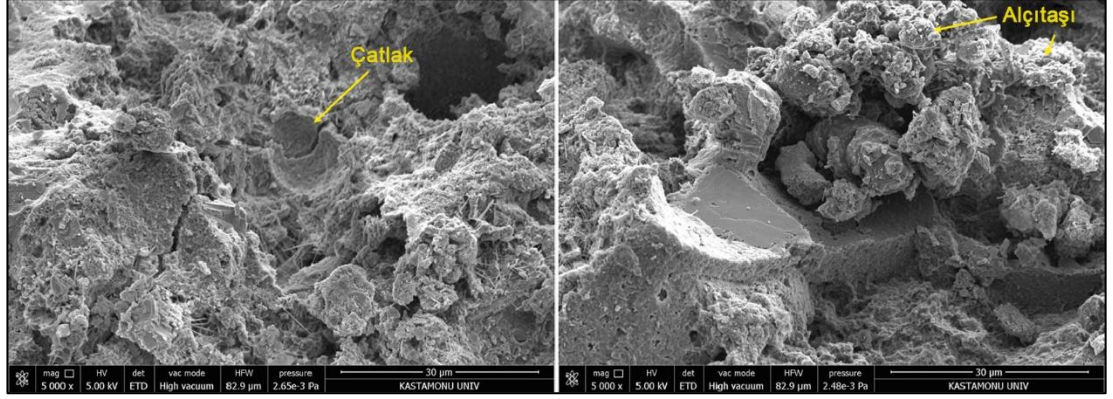
Şekil 4.19 28 gün boyunca suda kürenen SD20C5K60'nin SEM görüntüleri

Şekil 4.20’de H_2SO_4 ’e maruz bırakılan SD0C3K20 karışımının SEM görüntüleri verilmiştir. Pasta içinde etrenjit oluşumu gözlenmemiştir. Ancak daha fazla jips oluştuğu tespit edilmiştir.



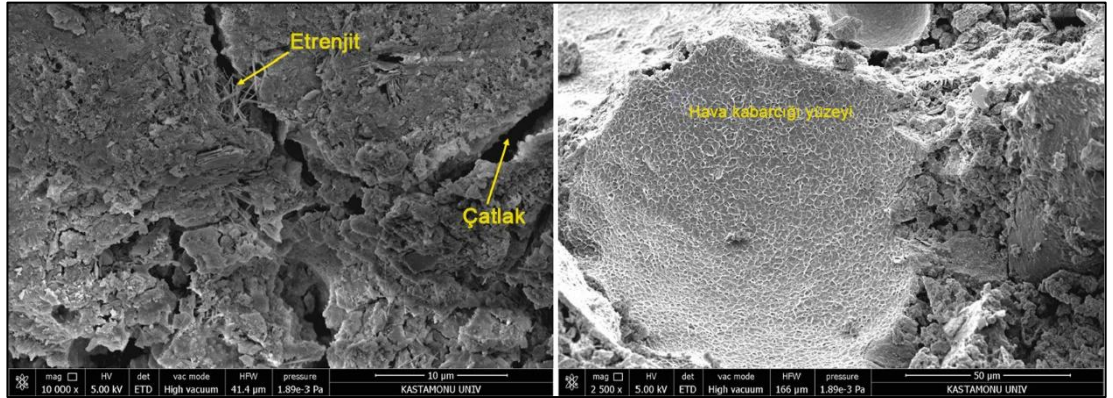
Şekil 4.20 H_2SO_4 'e maruz kalan SD0C3K20'nin SEM görüntüleri

Şekil 4.21’de H₂SO₄ etkisi ile SD0C4K40 karışımında mikro çatlaklar oluştuğu tespit edilmiştir. Ayrıca çatlaklar ve alçı oluşumu gözlenmiştir.



Şekil 4.21 H₂SO₄'e maruz kalan SD0C4K40'nin SEM görüntüleri

Şekil 4.22’de pasta içinde yoğun jips oluşumu tespit edilmiştir. H₂SO₄ etkisi ile mikro çatlaklar oluşmuştur. Alçı ve etrenjitin geniş etkisi ile mikro çatlaklar oluşmuştur. Ancak alçı, geçirimsiz bir yapı oluşturarak H₂SO₄ hasarını azaltmıştır.



Şekil 4. 22 H₂SO₄'e maruz kalan SD20C5K60'nin SEM görüntüleri

4.3.11 Optimizasyon

Karışım optimizasyonları, istenilen koşullara göre (maksimum, minimum veya hedef değerlere göre) en uygun çözümlerin bulunmasını amaçlamaktadır. Bu çalışmada, tam faktöriyel deney tasarımı için optimizasyon yapılmıştır. Bu tür çalışmalarda, birden fazla faktör ve yanıt dikkate alındığında çok amaçlı optimizasyon yöntemleri kullanılmaktadır. Minimum ve maksimum tepkiler, optimum karışım tasarımı belirler. Optimizasyon yanıtları Tablo 4.1’de verilmiştir.

Çok amaçlı optimizasyonda, yanıtlar için nesnel koşullar belirlenmektedir. Objektif koşullar ve optimum karışım Tablo 4.2’de verilmiştir.

Başlangıç değişkenleri ile SD0C3K20 karışımı referans olarak alınmıştır. Bu nedenle, SD0C3K20 karışımı optimum karışımla karşılaştırılmıştır. İki karışım için sonuçların bir karşılaştırılması Tablo 4.3’te gösterilmiştir.

Tablo 4.1 Faktörlerin ve tepkilerin alt ve üst sınır değerleri

Değişkenler	Faktörler ve Yanıtlar	Alt Limit	Üst Limit
Faktörler	Çimento Dozu (kg/m ³)	300	500
	Köpük İçeriği (kg/m ³)	20	60
	Silika Dumanı (%)	0	20
Tepkiler	Kuru Birim Ağırlığı (kg/m ³)	747	1108
	28 Gün - Basınç Dayanımı (MPa)	1,03	7,43
	Kuruma Büzülmesi (µm)	5032	8012
	Su Penetrasyon Derinliği (mm)	1,57	6,21
	F-T Sonrası Kütle Kaybı (%)	1,37	4,47
	Kütle Değişimi-H ₂ SO ₄ Etkisi (%)	2,98	13,78
	Aşınma Derinliği (mm)	0,31	4,25
	Termal İletkenlik (W/m.K)	0,104	0,246

5. SONUÇLAR

Agrega olarak çimento içeriği ve atık lastik kauçuğun H_2SO_4 ve donma-çözülme döngülerine maruz kalan köpük betonların mekanik, taşıma ve aşınma özellikleri üzerindeki etkileri bu deneysel çalışmada değerlendirilmiş ve aşağıdaki sonuçlara işaret edilmiştir:

- Çimento ve köpük içeriğindeki artış, yayılma çapını önemli ölçüde artırmaktadır.
- Çimento içeriğinin 300 kg/m^3 'ten 500 kg/m^3 'e yükselmesi nedeniyle SD'li karışımların eğilme mukavemeti artışı, 28 günde 20, 40 ve 60 kg/m^3 köpük içeriğinde sırasıyla %28,73; 56,06 ve 91,37'dir.
- UGH ve basınç dayanımı arasındaki ilişki, bu iki değişken arasında $0,86 R^2$ değeri olarak güçlü bir korelasyon trend çizgisi olarak bildirilebilmektedir.
- Çimento içeriğinin 300 kg/m^3 'ten 500 kg/m^3 'e yükselmesi nedeniyle SD içermeyen karışımların birim ağırlık artışları 20, 40 ve 60 kg/m^3 köpük içeriğinde sırasıyla %7,36; 20,95 ve 16,72 olmuştur.
- 300 kg/m^3 çimento ve 60 kg/m^3 köpük içeren karışımlar, en düşük birim ağırlık nedeniyle en düşük ısı iletkenliği sergilemiştir.
- Çimento içeriğindeki artış ve köpük içeriğindeki azalma, SD'li ve SD'siz karışımlarda kapilerite değerlerini azaltmıştır. Çimento içeriği 300 kg/m^3 ve 500 kg/m^3 ve köpük içeriği 20 kg/m^3 olan karışımlar için 5032×10^{-6} ve $7065 \times 10^{-6} \text{ mm/mm}$ en düşük ve en yüksek büzülme değerleri elde edilmiştir. Çimento içeriğinin SD içermeyen karışımların büzülmesine etkisi çok önemliydi ve 20 kg/m^3 köpük içeriğinde çimento içeriği 300'den 500 kg/m^3 'e değiştirildiğinde %28,77 azalma sağlamıştır.

- Çimento içeriğindeki artış ve köpük içeriğindeki azalma, SD içermeyen karışımlarda büzülme değerlerini düşürürken, SD'li karışımlarda ise çimento içeriğindeki köpük içeriğindeki artış büzülme değerlerini azaltmıştır.
- Köpük içeriğindeki artış, kapileriteyi arttırmış ve en yüksek kapilerite değerini $6,21 \text{ mm/s}^{0.5}$ ile 300 kg/m^3 çimento içeriği ve 60 kg/m^3 köpük içeren karışım için elde edilmiştir. Çimento içeriği 300 kg/m^3 'ten 500 kg/m^3 'e ve köpük içeriği 60 kg/m^3 'ten 20 kg/m^3 'e değiştirildiğinde kapileritede en yüksek azalma %66 olarak bulunmuştur.
- Köpük içeriğindeki artış, aşınma derinliğini arttırmış ve en yüksek aşınma derinliği değerleri olan 0,69; 2,12 ve 4,25 mm'yi 2, 4 ve 6. dakikalarda 300 kg/m^3 çimento içeriği ve 60 kg/m^3 köpük içeriği içeren karışım ile elde edilmiştir.
- SD içermeyen karışımlar, 400 kg/m^3 çimento içeriği ve 60 kg/m^3 köpük içeriğinde 30 ve 60 D-Ç döngüsünden sonra %67,3 ve 17,6'lık en yüksek dayanım artışına sahip olduğu gözlenmiştir.
- SD içermeyen tüm karışımlar, %3 sülfürik asit çözeltilerinde artan maruz kalma süresi ile sürekli bir ağırlık artışı göstermiştir ancak SD içeren karışımlar için ağırlık artışı 28 günde düşmüştür ve ardından 56 günlük maruz kalma süresine kadar tekrar artmıştır.
- 500 kg/m^3 çimento içeriğine ve 20 kg/m^3 köpük içeriğine sahip SD içeren karışım, D-Ç döngülerinde ve asit saldırısına maruz kaldıktan sonra en iyi direnci göstermiştir.

KAYNAKLAR

- Adesina, A., & Das, S. (2021). Performance of engineered cementitious composites incorporating crumb rubber as aggregate. *Construction and Building Materials*, 274, 122033. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.122033>
- Aghaeipour, A., & Madhkhan, M. (2017). Effect of ground granulated blast furnace slag (GGBFS) on RCCP durability. *Construction and Building Materials*, 141, 533-541. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.03.019>
- Akbarzadeh Bengar, H., Shahmansouri, A. A., Akkas Zangebari Sabet, N., Kabirifar, K., & W.Y. Tam, V. (2020). Impact of elevated temperatures on the structural performance of recycled rubber concrete: Experimental and mathematical modeling. *Construction and Building Materials*, 255, 119374. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119374>
- Akın, M. H. (2017). *Polimer betonların özelliklerinde atık lastik kullanımının etkisi* [Yüksek Lisans Tezi]. Atatürk Üniversitesi.
- Al-Akhras, N. M., & Smadi, M. M. (2004). Properties of tire rubber ash mortar. *Cement and Concrete Composites*, 26(7), 821-826. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2004.01.004>
- Al-Amoudi, O. S. B., Maslehuddin, M., Shameem, M., & Ibrahim, M. (2007). Shrinkage of plain and silica fume cement concrete under hot weather. *Cement and Concrete Composites*, 29(9), 690-699. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2007.05.006>
- Al-Tayeb, M. M., Abu Bakar, B. H., Ismail, H., & Akil, H. M. (2013). Effect of partial replacement of sand by recycled fine crumb rubber on the performance of hybrid rubberized-normal concrete under impact load: Experiment and simulation. *Journal of Cleaner Production*, 59, 284-289. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.04.026>
- Alterra, 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.
- Alterra, 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, Y. H. M., Farzadnia, N., & Abang Ali, A. A. (2015). Properties and applications of foamed concrete; a review. *Construction and Building Materials*, 101, 990-1005. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.10.112>
- 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
- Aslani, F. (2016). Mechanical Properties of Waste Tire Rubber Concrete. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 28(3), 04015152. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0001429](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0001429)
- Assaggaf, R. A., Ali, M. R., Al-Dulaijan, S. U., & Maslehuddin, M. (2021). Properties of concrete with untreated and treated crumb rubber – A review. *Journal of Materials Research and Technology*, 11, 1753-1798. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.02.019>
- ASTM C 267. (1997). *Standard Test Methods for Chemical Resistance of Mortars, Grouts and Monolithic Surfacing's and Polymer Concretes*. West Conshohocken, USA.
- ASTM C 666. (2015). *Standard Test Method for Resistance of Concrete to Rapid Freezing and Thawing*, West Conshohocken, PA: ASTM International.,.
- ASTM C348. (2019). *Standard Test Method for Flexural Strength of Hydraulic-Cement Mortars*. ASTM International, West Conshohocken, PA.,.
- ASTM C597. (2003). *Standard Test Method for Pulse Velocity through Concrete*, West Conshohocken, PA: ASTM International.,.
- Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete. West Conshohocken, PA: ASTM International;, (2013).
- ASTM C869. (2016). *Standard Specification for Foaming Agents Used in Making Preformed Foam for Cellular Concrete*. ASTM International, West Conshohocken, PA. https://www.astm.org/c0869_c0869m-11r16.html
- ASTM C944. (2019). *Standard Test Method for Abrasion Resistance of Concrete or Mortar Surfaces by the Rotating-Cutter Method*. West Conshohocken, PA: ASTM International.,.
- ASTM C1437. (2015). *ASTM C1437—15 Standard Test Method for Flow of Hydraulic Cement Mortar*. <https://www.astm.org/c1437-15.html>
- ASTM C1585. (2020). *Standard Test Method for Measurement of Rate of Absorption of Water by Hydraulic-Cement Concretes*, West Conshohocken, PA:ASTM International.
- ASTM D7984. (2016). *Standard Test Method for Measurement of Thermal Effusivity of Fabrics Using a Modified Transient Plane Source (MTPS) Instrumen*, ASTM International.,.

- Ayberk, M. (1986). *Betonarme iskelet yapılar da hafif duvar elemanı kullanımının yapı maliyetine etkisi üzerine bir yöntem araştırması ve Perlit Örneği* [Doktora Tezi]. Yıldız Teknik Üniversitesi.
- Azevedo, F., Pacheco-Torgal, F., Jesus, C., Barroso de Aguiar, J. L., & Camões, A. F. (2012). Properties and durability of HPC with tyre rubber wastes. *Construction and Building Materials*, 34, 186-191. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.02.062>
- 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., Gencel, 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.

Bekaroğlu, M. (2012). *Kompozit Yapıda Pomza Agregası İçeren Köpük Betonun Özellikleri Ve Teknik Parametrelerinin İrdelenmesi*, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, . 124.

Benazzouk, A., Mezreb, K., Doyen, G., Goullieux, A., & Quéneudec, M. (2003). Effect of rubber aggregates on the physico-mechanical behaviour of cement–

rubber composites-influence of the alveolar texture of rubber aggregates. *Cement and Concrete Composites*, 25(7), 711-720. [https://doi.org/10.1016/S0958-9465\(02\)00067-7](https://doi.org/10.1016/S0958-9465(02)00067-7)

- Benli, A. (2019). Mechanical and durability properties of self-compacting mortars containing binary and ternary mixes of fly ash and silica fume. *Structural Concrete*, 20(3), 1096-1108. <https://doi.org/10.1002/suco.201800302>
- Benli, A., Karataş, M., & Gurses, E. (2017). Effect of sea water and MgSO₄ solution on the mechanical properties and durability of self-compacting mortars with fly ash/silica fume. *Construction and Building Materials*, 146, 464-474. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.04.108>
- Binici, H., Yardim, Y., Aksogan, O., Resatoglu, R., Dincer, A., & Karrpuz, A. (2020). Durability properties of concretes made with sand and cement size basalt. *Sustainable Materials and Technologies*, 23, e00145. <https://doi.org/10.1016/j.susmat.2019.e00145>
- Bušić, R., Miličević, I., Šipoš, T. K., & Strukar, K. (2018). Recycled Rubber as an Aggregate Replacement in Self-Compacting Concrete—Literature Overview. *Materials*, 11(9), 1729. <https://doi.org/10.3390/ma11091729>
- 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., 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., Sevik, H., & Cobanoglu, O. (2020). Ca, Cu, and Li in washed and unwashed specimens of needles, bark, and branches of the blue spruce (*Picea pungens*) in the city of Ankara. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-10.
- Code, S. B. (2005). *Structural Building, Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-05) and Commentary (ACI 318R-05)*. American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich.

- Devlet, H. (2020). *Killi zeminler üzerinde atık lastik ve gazbetonun etkilerinin değerlendirilmesi* [Yüksek Lisans Tezi]. Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi.
- Ding, G., Cheng, G., & Shi, M. (2011). Study on The Process of UV-Grafting Maleic Anhydride on Waste Rubber Powder (in Chinese). *New Chemical Materials*, 7, 39. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1006-3536.2011.07.036>.
- Dong, Q., Huang, B., & Shu, X. (2013). Rubber modified concrete improved by chemically active coating and silane coupling agent. *Construction and Building Materials*, 48, 116-123. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.06.072>
- Elchalakani, M. (2015). High strength rubberized concrete containing silica fume for the construction of sustainable road side barriers. *Structures*, 1, 20-38. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2014.06.001>
- Eldin, N. N., & Senouci, A. B. (1993). Rubber-Tire Particles as Concrete Aggregate. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 5(4), 478-496. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0899-1561\(1993\)5:4\(478\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0899-1561(1993)5:4(478))
- 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
- Eltayeb, E., Ma, X., Zhuge, Y., Youssf, O., & Mills, J. E. (2020). Influence of rubber particles on the properties of foam concrete. *Journal of Building Engineering*, 30, 101217. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2020.101217>
- Emiroğlu, M. (2006). *Atık taşıt lastiğın beton içerisinde kullanımı ve betonun karakteristiklerine etkisi* [Yüksek Lisans Tezi]. Fırat Üniversitesi.
- Emiroğlu, M., Yıldız, S., & Keleştemur, M. (2008). An investigation on its microstructure of the concrete containing waste vehicle tire. *Computers and Concrete*, 5. <https://doi.org/10.12989/cac.2008.5.5.503>
- Eri, D. M., Wang, H., Wang, X., & Liu, J. (2015). Effect of Surface Modified Waste Tire Rubber Powder on Mechanical Properties of Cement Mortar (in Chinese). *China Sciencepaper*, 10(1), 73-77. <https://doi.org/10.3969/j.issn.2095-2783.2015.01.017>.
- Ersoy, H. (2020). *Alkalilerle Aktive Edilmiş Yüksek Fırın Cüruf Katkılı Geopolimer Köpük Beton Üretimi* [Yüksek Lisans Tezi]. Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi.
- Fernández-Ruiz, M. A., Gil-Martín, L. M., Carbonell-Márquez, J. F., & Hernández-Montes, E. (2018). Epoxy resin and ground tyre rubber replacement for cement in concrete: Compressive behaviour and durability properties. *Construction and Building Materials*, 173, 49-57. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.04.004>

- Ganjian, E., Khorami, M., & Maghsoudi, A. A. (2009). Scrap-tyre-rubber replacement for aggregate and filler in concrete. *Construction and Building Materials*, 23(5), 1828-1836. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2008.09.020>
- 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. (2021). 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.
- Ghaffar, S. H., Burman, M., & Braimah, N. (2020). Pathways to circular construction: An integrated management of construction and demolition waste for resource recovery. *Journal of Cleaner Production*, 244, 118710. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118710>
- Ghaly, A. M., & Cahill IV, J. D. (2005). Correlation of strength, rubber content, and water to cement ratio in rubberized concrete. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 32(6), 1075-1081. <https://doi.org/10.1139/105-063>
- 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>
- Guo, S., Dai, Q., Si, R., Sun, X., & Lu, C. (2017). Evaluation of properties and performance of rubber-modified concrete for recycling of waste scrap tire. *Journal of Cleaner Production*, 148, 681-689. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.02.046>
- Gupta, T., Chaudhary, S., & Sharma, R. K. (2016). Mechanical and durability properties of waste rubber fiber concrete with and without silica fume. *Journal of Cleaner Production*, 112, 702-711. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.07.081>

- Gündüz, G., & Yalçın, N. (1987). Strength of steel-fibre-reinforced polymer concrete: Effect of impregnation technique. *Composites Science and Technology*, 30(2), 127-135. [https://doi.org/10.1016/0266-3538\(87\)90045-5](https://doi.org/10.1016/0266-3538(87)90045-5)
- Güneyisi, E. (2010). Fresh properties of self-compacting rubberized concrete incorporated with fly ash. *Materials and Structures*, 43(8), 1037-1048. <https://doi.org/10.1617/s11527-009-9564-1>
- Güneyisi, E., Gesoğlu, M., & Özturan, T. (2004). Properties of rubberized concretes containing silica fume. *Cement and Concrete Research*, 34(12), 2309-2317. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.04.005>
- Hamdi, A., Abdelaziz, G., & Farhan, K. Z. (2021). Scope of reusing waste shredded tires in concrete and cementitious composite materials: A review. *Journal of Building Engineering*, 35, 102014. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.102014>
- Hatungimana, D., Taşköprü, C., İçhedef, M., Saç, M. M., & Yazıcı, Ş. (2019). Compressive strength, water absorption, water sorptivity and surface radon exhalation rate of silica fume and fly ash based mortar. *Journal of Building Engineering*, 23, 369-376. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.01.011>
- He, L., Cai, H., Huang, Y., Ma, Y., Van Den Bergh, W., Gaspar, L., Valentin, J., Vasiliev, Y. E., Kowalski, K. J., & Zhang, J. (2021). Research on the properties of rubber concrete containing surface-modified rubber powders. *Journal of Building Engineering*, 35, 101991. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101991>
- Hernández-Olivares, F., Barluenga, G., Bollati, M., & Witoszek, B. (2002). Static and dynamic behaviour of recycled tyre rubber-filled concrete. *Cement and Concrete Research*, 32(10), 1587-1596. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(02\)00833-5](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(02)00833-5)
- Hossain, F. M. Z., Shahjalal, Md., Islam, K., Tiznobaik, M., & Alam, M. S. (2019). Mechanical properties of recycled aggregate concrete containing crumb rubber and polypropylene fiber. *Construction and Building Materials*, 225, 983-996. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.07.245>
- Hrivnák, M., Paule, L., Krajmerová, D., Kulaç, Ş., Şevik, H., Turna, İ., Tvauri, I. & Gömöry, D. (2017). Genetic variation in Tertiary relics: The case of eastern-Mediterranean *Abies* (Pinaceae). *Ecology and evolution*, 7 (23), 10018-10030.
- Hu, P. (2007). *Study on permeability of crumb rubber concrete[D]*. Tianjin University, Tianjin.
- 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., Cetin, M., Icen, H.B. and Sevik, H. (2015) Indoor Quality Analysis of CO₂ For Student Living Areas. In: *The International Conference on Science, Ecology and Technology I (ICONSETE'2015 – Vienna)* August 25- 28, 2015, Vienna, Austria, 123.

- Isinkaralar, K. (2020). Removal of Formaldehyde and BTEX in Indoor Air Using Activated Carbon Produced from Horse Chestnut (*Aesculus Hippocastanum* L.) Shell. Ph.D. Thesis Hacettepe University Institute of Science Department of Environmental Engineering. Ankara, Turkey.
- Isinkaralar, K., Gullu, G., & Turkyilmaz, A. (2022). Experimental study of formaldehyde and BTEX adsorption onto activated carbon from lignocellulosic biomass. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 1-11.
- Issa, C. A., & Salem, G. (2013). Utilization of recycled crumb rubber as fine aggregates in concrete mix design. *Construction and Building Materials*, 42, 48-52. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.12.054>
- Jalal, M., Nassir, N., & Jalal, H. (2019). Waste tire rubber and pozzolans in concrete: A trade-off between cleaner production and mechanical properties in a greener concrete. *Journal of Cleaner Production*, 238, 117882. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117882>
- Jokar, F., Khorram, M., Karimi, G., & Hataf, N. (2019). Experimental investigation of mechanical properties of crumbed rubber concrete containing natural zeolite. *Construction and Building Materials*, 208, 651-658. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.03.063>
- Kadir, A. A., Hassan, M. I. H., Sarani, N. A., Yatim, F. S. M., & Jaini, Z. M. (2017). A practical approach for solving disposal of rubber waste: Leachability of heavy metals from foamed concrete containing rubber powder waste (RPW). *AIP Conference Proceedings*, 1885(1), 020081. <https://doi.org/10.1063/1.5002275>
- Kalouosh, K. E., Way, G. B., & Zhu, H. (2005). *Properties of Crumb Rubber Concrete*. Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board.
- Kang, J., Zhang, B., & Li, G. (2012). The abrasion-resistance investigation of rubberized concrete. *Journal of Wuhan University of Technology-Mater. Sci. Ed.*, 27(6), 1144-1148. <https://doi.org/10.1007/s11595-012-0619-8>
- 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>
- Karagöl, F., Yegin, Y., Polat, R., Benli, A., & Demirboğa, R. (2018). The influence of lightweight aggregate, freezing–thawing procedure and air entraining agent on freezing–thawing damage. *Structural Concrete*, 19(5), 1328-1340. <https://doi.org/10.1002/suco.201700133>
- Kashani, A., Ngo, T. D., Hemachandra, P., & Hajimohammadi, A. (2018). Effects of surface treatments of recycled tyre crumb on cement-rubber bonding in concrete composite foam. *Construction and Building Materials*, 171, 467-473. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.03.163>
- Kaza, S., Yao, L., Bhada-Tata, P., & Woerden, F. V. (2018). *What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050*. World Bank Publications.
- Kazmi, M. S., Munir, M. J., Abbas, S., Saleem, M. A., Khitab, A., & Rizwan, M. (2017). Development of Lighter and Eco-Friendly Burnt Clay Bricks Incorporating Sugarcane Bagasse Ash. *Pakistan Journal of Engineering and Applied Sciences*. https://journal.uet.edu.pk/ojs_old/index.php/pjeas/article/view/1216
- Kazmi, S. M. S., Munir, M. J., & Wu, Y.-F. (2021). Application of waste tire rubber and recycled aggregates in concrete products: A new compression casting approach. *Resources, Conservation and Recycling*, 167, 105353. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105353>
- Kazmi, S. M. S., Munir, M. J., Wu, Y.-F., & Patnaikuni, I. (2018). Effect of macro-synthetic fibers on the fracture energy and mechanical behavior of recycled aggregate concrete. *Construction and Building Materials*, 189, 857-868. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.08.161>
- Kazmi, S. M. S., Munir, M. J., Wu, Y.-F., Patnaikuni, I., Zhou, Y., & Xing, F. (2019a). Axial stress-strain behavior of macro-synthetic fiber reinforced recycled aggregate concrete. *Cement and Concrete Composites*, 97, 341-356. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2019.01.005>

- Kazmi, S. M. S., Munir, M. J., Wu, Y.-F., Patnaikuni, I., Zhou, Y., & Xing, F. (2019b). Influence of different treatment methods on the mechanical behavior of recycled aggregate concrete: A comparative study. *Cement and Concrete Composites*, 104, 103398. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2019.103398>
- Khaloo, A. R., Dehestani, M., & Rahmatabadi, P. (2008). Mechanical properties of concrete containing a high volume of tire–rubber particles. *Waste Management*, 28(12), 2472-2482. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2008.01.015>
- Khatib, Z. K., & Bayomy, F. M. (1999). Rubberized Portland Cement Concrete. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 11(3), 206-213. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0899-1561\(1999\)11:3\(206\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0899-1561(1999)11:3(206))
- Kilicoglu, C., Cetin, M., Aricak, B., & Sevik, H. (2020). Site selection by using the multi-criteria technique-a case study of Bafra, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192 (9), 1-12.
- Kilicoglu, C., Cetin, M., Aricak, B., Sevik, H. (2021) Integrating multicriteria decision-making analysis for a GIS-based settlement area in the district of Atakum, Samsun, Turkey. *Theor Appl Climatol*. 143, 379–388. <https://doi.org/10.1007/s00704-020-03439-2>
- Koç, İ. (2021a). 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. (2021b) 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. (2021c) 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 (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
- Koushkbaghi, M., Kazemi, M. J., Mosavi, H., & Mohseni, E. (2019). Acid resistance and durability properties of steel fiber-reinforced concrete incorporating rice husk ash and recycled aggregate. *Construction and Building Materials*, 202, 266-275. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.12.224>

- Lei, H., Liao, H., Huang, J., Zhang, J., & Dai, W. (2014). Research on Modification of Waste Tires by Ethyl orthosilicate (in Chinese). *China Powder Materials*, 2(20), 18-22. <https://doi.org/10.13732/j.issn.1008-5548.2014.02.004>.
- Li, Y., Zhang, S., Wang, R., & Dang, F. (2019). Potential use of waste tire rubber as aggregate in cement concrete – A comprehensive review. *Construction and Building Materials*, 225, 1183-1201. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.07.198>
- Li, Y., Zhang, X., Wang, R., & Lei, Y. (2019). Performance enhancement of rubberised concrete via surface modification of rubber: A review. *Construction and Building Materials*, 227, 116691. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.116691>
- Li, Z., Li, F., & Li, J. S. L. (1998). Properties of concrete incorporating rubber tyre particles. *Magazine of Concrete Research*, 50(4), 297-304. <https://doi.org/10.1680/mac.1998.50.4.297>
- Ling, G., Shui, Z., Sun, T., Gao, X., Wang, Y., Sun, Y., Wang, G., & Li, Z. (2018). Rheological Behavior and Microstructure Characteristics of SCC Incorporating Metakaolin and Silica Fume. *Materials*, 11(12), 2576. <https://doi.org/10.3390/ma11122576>
- Liu, F., Meng, L., Ning, G.-F., & Li, L.-J. (2015). Fatigue performance of rubber-modified recycled aggregate concrete (RRAC) for pavement. *Construction and Building Materials*, 95, 207-217. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.07.042>
- Liu, H., Wang, X., & Jia, D. (2020). Recycling of waste rubber powder by mechanochemical modification. *Journal of Cleaner Production*, 245, 118716. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118716>
- Liu, H., Wang, X., Jiao, Y., & Sha, T. (2016). Experimental Investigation of the Mechanical and Durability Properties of Crumb Rubber Concrete. *Materials*, 9(3), 172. <https://doi.org/10.3390/ma9030172>
- Liu, J. (2017). *Experimental Study on Microscopic Mechanism of Working Performance and Mechanical Properties of Modified Rubber Particle Cement-Based Composites (in Chinese)*. Inner Mongolia Agricultural University.
- Liu, R., & Zhang, L. (2015). Utilization of waste tire rubber powder in concrete. *Composite Interfaces*, 22(9), 823-835. <https://doi.org/10.1080/09276440.2015.1065619>
- Luhar, S., & Luhar, I. (2019). Potential application of E-wastes in construction industry: A review. *Construction and Building Materials*, 203, 222-240. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.01.080>
- Makhloufi, Z., Kadri, E. H., Bouhicha, M., & Benaissa, A. (2012). Resistance of limestone mortars with quaternary binders to sulfuric acid solution. *Construction*

and *Building Materials*, 26(1), 497-504.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.06.050>

- Mardani-Aghabaglou, A., İnan Sezer, G., & Ramyar, K. (2014). Comparison of fly ash, silica fume and metakaolin from mechanical properties and durability performance of mortar mixtures view point. *Construction and Building Materials*, 70, 17-25. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.07.089>
- Marl, A. K. (1996). *Vestoplast-ein Thermoplastischer Kunststoff zur Polymermodifizierung*. Asphalt, c. 30, sayı 6, ss. 50-53,.
- Mehrani, S. A., Bhatti, I. A., Bhatti, N. B., Jhatial, A. A., & Lohar, M. A. (2019). Utilization of Rubber Powder of Waste Tyres in Foam Concrete. *Journal of Applied Engineering Sciences*, 9(1), 87-90. <https://doi.org/10.2478/jaes-2019-0011>
- Miyandehi, B. M., Feizbakhsh, A., Yazdi, M. A., Liu, Q., Yang, J., & Alipour, P. (2016). Performance and properties of mortar mixed with nano-CuO and rice husk ash. *Cement and Concrete Composites*, 74, 225-235. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2016.10.006>
- Mohajerani, A., Burnett, L., Smith, J. V., Markovski, S., Rodwell, G., Rahman, M. T., Kurmus, H., Mirzababaei, M., Arulrajah, A., Horpibulsuk, S., & Maghool, F. (2020). Recycling waste rubber tyres in construction materials and associated environmental considerations: A review. *Resources, Conservation and Recycling*, 155, 104679. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104679>
- Mohammadi, I., Khabbaz, H., & Vessalas, K. (2016). Enhancing mechanical performance of rubberised concrete pavements with sodium hydroxide treatment. *Materials and Structures*, 49(3), 813-827. <https://doi.org/10.1617/s11527-015-0540-7>
- Mouri, H. (2016). *Bridgestone's View on Circular Economy, in Towards a Circular Economy: Corporate Management and Policy Pathways*. ERIA Research Project Report 2014-44, Jakarta: ERIA., V.a.J.K. Anbumozhi, Editor. https://www.eria.org/RPR_FY2014_No.44_Chapter_3.pdf
- Munir, M., Abbas, S., Nehdi, M., Kazmi, S., & Khitab, A. (2018). Development of Eco-Friendly Fired Clay Bricks Incorporating Recycled Marble Powder. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 30, 1-11. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0002259](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0002259)
- Munir, M. J., Abbas, S., Qazi, A. U., Nehdi, M. L., & Kazmi, S. M. S. (2018). Role of test method in detection of alkali-silica reactivity of concrete aggregates. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Construction Materials*. <https://doi.org/10.1680/jcoma.16.00058>
- Munir, M. J., Kazmi, S. M. S., Wu, Y.-F., Patnaikuni, I., Zhou, Y., & Xing, F. (2020). Stress strain performance of steel spiral confined recycled aggregate concrete. *Cement and Concrete Composites*, 108, 103535. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2020.103535>

- Munir, M. J., Wu, Y.-F., Kazmi, S. M. S., Patnaikuni, I., Zhou, Y., & Xing, F. (2019). Stress-strain behavior of spirally confined recycled aggregate concrete: An approach towards sustainable design. *Resources, Conservation and Recycling*, 146, 127-139. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.03.043>
- Munir, M., Kazmi, S., Khitab, A., & Hassan, M. (2016). *Utilization of Rice Husk Ash to Mitigate Alkali Silica Reaction in Concrete*.
- Muñoz-Sánchez, B., Arévalo-Caballero, M. J., & Pacheco-Menor, M. C. (2016). Influence of acetic acid and calcium hydroxide treatments of rubber waste on the properties of rubberized mortars. *Materials and Structures*, 50(1), 75. <https://doi.org/10.1617/s11527-016-0912-7>
- Mutlu, E., Demir, T., Yanık, T., & Anca Sutan, N. (2016). Determination of environmentally relevant water quality parameters in Serefiye Dam-Turkey. *Fresenius Environmental Bulletin*, 25(12), 5812-5818.
- Mutlu, E., & Güzel, A. E. (2019). Evaluation of some physicochemical water quality parameters of Gümüşsuyu Pond (Sinop-Erfelek). *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 7(sp3), 72-77.
- Nambiar, E. K. K., & Ramamurthy, K. (2007). Air-void characterisation of foam concrete. *Cement and Concrete Research*, 37(2), 221-230. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2006.10.009>
- Nehdi, M., & Khan, A. (2001). Cementitious Composites Containing Recycled Tire Rubber: An Overview of Engineering Properties and Potential Applications. *Cement Concrete and Aggregates - CEMENT CONCRETE AGGREGATES*, 23. <https://doi.org/10.1520/CCA10519J>
- Onuaguluchi, O. (2015). Effects of surface pre-coating and silica fume on crumb rubber-cement matrix interface and cement mortar properties. *Journal of Cleaner Production*, 104, 339-345. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.04.116>
- Onuaguluchi, O., & Banthia, N. (2019). Long-term sulfate resistance of cementitious composites containing fine crumb rubber. *Cement and Concrete Composites*, 104, 103354. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2019.103354>
- Onuaguluchi, O., & Panesar, D. K. (2014). Hardened properties of concrete mixtures containing pre-coated crumb rubber and silica fume. *Journal of Cleaner Production*, 82, 125-131. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.06.068>
- Ozel, H. B., Donduran, V., Şevik, H., Bilir, N., & Varol, T. (2021a). Investigation on sand-dune afforestation by Eucalyptus (*Eucalyptus grandis* W. Hill) in Patara-Antalya region. *Theoretical and Applied Forestry*, 1(1), 34-39.
- Ozel, H. B., Varol, H.N., Sevik, H. (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, H.B., Varol, H.N., Sevik, H. (2021c) The Change of Mn Concentration by Organ and Species in Several Edible Plants. *International Journal of Progressive Sciences and Technologies (IJPSAT)*. 29(2): 474-480
- Ozel, H. B., Sen, M., Sevik, H. (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>
- Ozel, H.B., Abo Aisha, A.E.S., Cetin, M. Sevik, H., Zeren Cetin, I. (2021e). 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>
- 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 Balikdami Wildlife Development Area. *Environmental Monitoring and Assessment*, 191 (11), 645.
- Ören, O. H. (2017). *Granüle Yüksek Fırın Cürufunun Köpük Beton Özelliklerine Etkisi* [Yüksek Lisans Tezi]. Bartın Üniversitesi.
- Ören, O. H., & Gençel, O. (2017). *Köpük Beton, Bartın Üniversitesi Mühendislik ve Teknoloji Bilimleri Dergisi*, 5, 129-136. <https://docplayer.biz.tr/109293761-Bartın-universitesi-muhendislik-ve-teknoloji-bilimleri-dergisi.html>
- Öztütüncü, G. H. (1992). *Ortalama hafif agraga boyutunun yarı hafif betonların dona dayanıklılığı üzerindeki etkileri* [Yüksek Lisans Tezi]. İTÜ.
- Pacheco-Torgal, F., Ding, Y., & Jalali, S. (2012). Properties and durability of concrete containing polymeric wastes (tyre rubber and polyethylene terephthalate bottles): An overview. *Construction and Building Materials*, 30, 714-724. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.11.047>
- Paine, K., Dhir, R., R. M., & Kopasakis, K. (2002). “*Use of crumb rubber to achieve freeze thaw resisting concrete. Proceedings of the International Conference on Concrete for Extreme Conditions*”.
- Pehlken, A., & Essadiqi, E. (2005). *Scrap Tire Recycling in Canada, CANMET Materials Technology Laboratory, MTL*, (s. 8).
- Pham, T. M., Elchalakani, M., Hao, H., Lai, J., Ameduri, S., & Tran, T. M. (2019). Durability characteristics of lightweight rubberized concrete. *Construction and Building Materials*, 224, 584-599. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.07.048>
- Raj, A., Sathyan, D., & Mini, K. M. (2019). Physical and functional characteristics of foam concrete: A review. *Construction and Building Materials*, 221, 787-799. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.06.052>

- Ramamurthy, K., Kunhanandan Nambiar, E. K., & Indu Siva Ranjani, G. (2009). A classification of studies on properties of foam concrete. *Cement and Concrete Composites*, 31(6), 388-396. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2009.04.006>
- Rao, G. A. (2001). Long-term drying shrinkage of mortar—Influence of silica fume and size of fine aggregate. *Cement and Concrete Research*, 31(2), 171-175. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(00\)00347-1](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(00)00347-1)
- Reda Taha, M. M., El-Dieb, A. S., Abd El-Wahab, M. A., & Abdel-Hameed, M. E. (2008). Mechanical, Fracture, and Microstructural Investigations of Rubber Concrete. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 20(10), 640-649. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0899-1561\(2008\)20:10\(640\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0899-1561(2008)20:10(640))
- Saberian, M., & Li, J. (2021). Effect of freeze–thaw cycles on the resilient moduli and unconfined compressive strength of rubberized recycled concrete aggregate as pavement base/subbase. *Transportation Geotechnics*, 27, 100477. <https://doi.org/10.1016/j.trgeo.2020.100477>
- Sarkaz, M. H. (2020). *Atık Lastik Katkılı Geopolimer Betonun Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi* [Yüksek Lisans Tezi]. Kastamonu Üniversitesi.
- Savas, B. Z., Ahmad, S., & Fedroff, D. (1997). Freeze-Thaw Durability of Concrete with Ground Waste Tire Rubber. *Transportation Research Record*, 1574(1), 80-88. <https://doi.org/10.3141/1574-11>
- 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>
- Segre, N., & Joekes, I. (2000). Use of tire rubber particles as addition to cement paste. *Cement and Concrete Research*, 30(9), 1421-1425. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(00\)00373-2](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(00)00373-2)
- Segre, N., Monteiro, P. J. M., & Sposito, G. (2002). Surface Characterization of Recycled Tire Rubber to Be Used in Cement Paste Matrix. *Journal of Colloid and Interface Science*, 248(2), 521-523. <https://doi.org/10.1006/jcis.2002.8217>
- 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., 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. (2021a). The effect of climate on leaf micromorphological characteristics in some broad-leaved species. *Environment, Development and Sustainability*, 23(4), 6395-6407.
- Sevik, H., Cetin, M., Yigit, N., Aricak, B., Ozturk, S., Onac, A. K., & Kuscü, I. S. K. (2021b). The effect of shadow conditions on stomatal characters of several plants used in landscape design. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 9(3), 109-115. DOI: 10.30574/wjarr.2021.9.3.0086
- Shah, S. N., Mo, K. H., Yap, S. P., Yang, J., & Ling, T.-C. (2021). Lightweight foamed concrete as a promising avenue for incorporating waste materials: A review. *Resources, Conservation and Recycling*, 164, 105103. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105103>
- Shults, P., Nzokou, P., Koc, I. (2020). Nitrogen contributions of alley cropped *Trifolium pratense* may sustain short rotation woody crop yields on marginal lands. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 117(2), 261-272.
- Siddique, R., & Naik, T. R. (2004). Properties of concrete containing scrap-tire rubber – an overview. *Waste Management*, 24(6), 563-569. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2004.01.006>
- Solís-Guzmán, J., Marrero, M., Montes-Delgado, M. V., & Ramírez-de-Arellano, A. (2009). A Spanish model for quantification and management of construction waste. *Waste Management*, 29(9), 2542-2548. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2009.05.009>
- Strukar, K., Kalman Šipoš, T., Miličević, I., & Bušić, R. (2019). Potential use of rubber as aggregate in structural reinforced concrete element – A review. *Engineering Structures*, 188, 452-468. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2019.03.031>
- Sukontasukkul, P. (2009). Use of crumb rubber to improve thermal and sound properties of pre-cast concrete panel. *Construction and Building Materials*, 23(2), 1084-1092. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2008.05.021>

- 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.
- Tamanna, K., Tiznobaik, M., Banthia, N., & Alam, M. S. (2020). Mechanical Properties of Rubberized Concrete Containing Recycled Concrete Aggregate. *Aci Materials Journal*, 117, 169-180. <https://doi.org/10.14359/51722409>
- Thomas, B. S., & Gupta, R. C. (2015). Long term behaviour of cement concrete containing discarded tire rubber. *Journal of Cleaner Production*, 102, 78-87. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.04.072>
- Thomas, B. S., Gupta, R. C., Kalla, P., & Cseteneyi, L. (2014). Strength, abrasion and permeation characteristics of cement concrete containing discarded rubber fine aggregates. *Construction and Building Materials*, 59, 204-212. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.01.074>
- Thomas, B. S., Gupta, R. C., Mehra, P., & Kumar, S. (2015). Performance of high strength rubberized concrete in aggressive environment. *Construction and Building Materials*, 83, 320-326. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.03.012>
- Thomas, B. S., Gupta, R. C., & Panicker, V. J. (2016). Recycling of waste tire rubber as aggregate in concrete: Durability-related performance. *Journal of Cleaner Production*, 112, 504-513. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.08.046>
- Thomas, B. S., Kumar, S., Mehra, P., Gupta, R. C., Joseph, M., & Cseteneyi, L. J. (2016). Abrasion resistance of sustainable green concrete containing waste tire rubber particles. *Construction and Building Materials*, 124, 906-909. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.07.110>
- Topçu, I. B., & Avcular, N. (1997). Collision behaviours of rubberized concrete. *Cement and Concrete Research*, 27(12), 1893-1898. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(97\)00204-4](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(97)00204-4)
- Topçu, İ. B., & Sarıdemir, M. (2008). Prediction of rubberized concrete properties using artificial neural network and fuzzy logic. *Construction and Building Materials*, 22(4), 532-540. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2006.11.007>
- Toutanji, H. A. (1996). The use of rubber tire particles in concrete to replace mineral aggregates. *Cement and Concrete Composites*, 18(2), 135-139. [https://doi.org/10.1016/0958-9465\(95\)00010-0](https://doi.org/10.1016/0958-9465(95)00010-0)
- 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.
- Tuzlak, F. (2017). *Taze Beton Reolojisinin Köpük Beton Özelliklerine Etkisi* [Yüksek Lisans Tezi]. Süleyman Demirel Üniversitesi.
- 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.
- Varol, T., Ozel, H. B., Ertugrul, M., Emir, T., Tunay, M., Cetin, M., & Sevik, H. (2021). Prediction of soil-bearing capacity on forest roads by statistical approaches. *Environmental monitoring and assessment*, 193(8), 527.
- Varol T, Canturk U, Cetin M, Ozel HB, Sevik H (2021) Impacts of climate change scenarios on European ash tree (*Fraxinus excelsior* L.) in Turkey. *Forest Ecology and Management. Forest Ecology and Management* 491 (2021) 119199. DOI: 10.1016/j.foreco.2021.119199
- Varol, T., Cetin, M., Ozel, H.B., Sevik, H., Zeren Cetin, I. (2022). The Effects of Climate Change Scenarios on *Carpinus betulus* and *Carpinus orientalis* in Europe. *Water Air Soil Pollut* 233, 45. <https://doi.org/10.1007/s11270-022-05516-w>
- Wang, J., Dai, Q., Si, R., & Guo, S. (2019). Mechanical, durability, and microstructural properties of macro synthetic polypropylene (PP) fiber-reinforced rubber concrete. *Journal of Cleaner Production*, 234, 1351-1364. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.272>
- Wang, J., Guo, Z., Yuan, Q., Zhang, P., & Fang, H. (2020). Effects of ages on the ITZ microstructure of crumb rubber concrete. *Construction and Building Materials*, 254, 119329. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119329>
- Wang, L., Jin, M., Wu, Y., Zhou, Y., & Tang, S. (2021). Hydration, shrinkage, pore structure and fractal dimension of silica fume modified low heat Portland

- cement-based materials. *Construction and Building Materials*, 272, 121952. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121952>
- Wbcasd. (2008). Managing End-of-Life Tires. *World Business Council for Sustainable Development (WBCSD)*, 18.
- Wu, Y.-F., Kazmi, S. M. S., Munir, M. J., Zhou, Y., & Xing, F. (2020). Effect of compression casting method on the compressive strength, elastic modulus and microstructure of rubber concrete. *Journal of Cleaner Production*, 264, 121746. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121746>
- Xie, J., Fang, C., Lu, Z., Li, Z., & Li, L. (2018). Effects of the addition of silica fume and rubber particles on the compressive behaviour of recycled aggregate concrete with steel fibres. *Journal of Cleaner Production*, 197, 656-667. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.237>
- Yanardağ, B. (2020). *Kalsiyum Alüminat Çimentolu Köpük Beton Tasarımı ve Mühendislik Özelliklerinin Belirlenmesi* [Yüksek Lisans Tezi]. Süleyman Demirel Üniversitesi.
- Yu, L., Yu, Q., & Liu, L. (2010). Hybrid modified rubber powder and its application in cement mortar. *Journal of Wuhan University of Technology-Mater. Sci. Ed.*, 25(6), 1033-1037. <https://doi.org/10.1007/s11595-010-0144-6>
- Yung, W. H., Yung, L. C., & Hua, L. H. (2013). A study of the durability properties of waste tire rubber applied to self-compacting concrete. *Construction and Building Materials*, 41, 665-672. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.11.019>
- Záleská, M., Pavlík, Z., Čítek, D., Jankovský, O., & Pavlíková, M. (2019). Eco-friendly concrete with scrap-tyre-rubber-based aggregate – Properties and thermal stability. *Construction and Building Materials*, 225, 709-722. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.07.168>
- 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.
- Zheng, W., Luo, B., & Wang, Y. (2014). Microstructure and mechanical properties of RPC containing PP fibres at elevated temperatures. *Magazine of Concrete Research*, 66(8), 397-408. <https://doi.org/10.1680/mac.13.00232>
- Zhu, H., Thong-On, N., & Zhang, X. (2002). Adding crumb rubber into exterior wall materials. *Waste Management & Research*, 20(5), 407-413. <https://doi.org/10.1177/0734242X0202000504>

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Hasan SÖYLEMEZ
Doğum Yeri ve Yılı : Çankaya, Ankara - 05.05.1989
Medeni Hali : Evli
Yabancı Dili : İngilizce



Eğitim Durumu

Lise : Reha Alemdaroğlu Anadolu Lisesi / Ankara
Ön Lisans : Bozok Üniversitesi / MYO / İnşaat Teknolojisi
Lisans : Yozgat Bozok Üniversitesi / İnşaat Mühendisliği

Mesleki Deneyim

İş Yeri : EAST İnşaat ve Dış Tic. A.Ş. Ankara
(Proje Yönetimi 2015-2021)
: EAST İnşaat ve Dış Tic. A.Ş. Ankara
(Teknik Ofis Şefi 2010-2015)

Yayın Listesi :

Bayraktar, O. Y., Soylemez, H., Kaplan, G., Benli, A., Gencil, O., & Turkoglu, M. (2021). 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.

Altera, A. Z. A., Bayraktar, O. Y., Söylemez, H. (2019) "Investigation of the Effects of Modified Bitumen on Asphalt Concrete Performance by Industrial Waste", *Kastamonu Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 5(2):93-100.

Söylemez, H., Balcı, B., Bayraktar, O.Y. (2019) "Endüstriyel Atıklardan Üretilen Geopolimer Harçların Özellikleri", 5th International European Conference On Science, Art & Culture, 28-29 Eylül, Ankara, Türkiye

Söylemez, H., Balcı, B., Bayraktar, O.Y. (2019) "Yüksek Sıcaklık Etkisi Altında Kireç Esaslı Kompozitlerin Araştırılması", 5th International European Conference On Science, Art & Culture, 28-29 Eylül, Ankara, Türkiye

Söylemez, H., Balcı, B., Bayraktar, O.Y. (2019) "Katı Atık Malzemelerin Yol Temel İnşaatında Kullanılabilirliğinin Araştırılması", 6th International Symposium On

Academic Studies In Science, Engineering And Architecture Sciences, 13-15 Haziran, Ankara, Türkiye

Balcı, B., Söylemez, H., Bayraktar, O.Y. (2019), “Endüstriyel Atık Malzemelerin Zemin İyileştirilmesinde Kullanılabilirliğinin Araştırılması”, 6th International Symposium On Academic Studies In Science, Engineering And Architecture Sciences, 13-15 Haziran, Ankara, Türkiye

Söylemez, H., Bayraktar, O.Y. (2019), “Donatılı Toprak Duvar (Toprakarme) İmalatında Beton Panel Yerine Atık Lastiklerin Kullanılmasının Araştırılması”, 3rd International Symposium on Innovative Approaches in Scientific Studies Section: Engineering and Natural Sciences, Nisan 19 – 21, Ankara, Türkiye

Söylemez, H., Bayraktar, O.Y. (2019), “Bor Mineralleri ve Atıkları İle Üretilen Betonarme Yapılarda Yangına Dayanıklılığın Araştırılması”, 3rd International Symposium on Innovative Approaches in Scientific Studies Section: Engineering and Natural Sciences, Nisan 19 – 21, Ankara, Türkiye

Söylemez, H., Bayraktar, O.Y. (2019), “İnşaat Yıkıntı Atıklarının Asfalt Agregası Olarak Kullanılma Stratejisi”, 3rd International Symposium on Innovative Approaches in Scientific Studies Section: Engineering and Natural Sciences, Nisan 19 – 21, Ankara, Türkiye