

**BAZALT AGREGA İLE ÜRETİLMİŞ VE BAZALT FİBER ÖRGÜ
İLE GÜÇLENDİRİLMİŞ GEÇİRİMLİ BETONUN FİZİKSEL VE
MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ**

EMRE KARAALIOĞLU

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
DOÇ. DR. BEKİR ÇOMAK**

DÜZCE, 2023

T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BAZALT AGREGA İLE ÜRETİLMİŞ VE BAZALT FİBER ÖRGÜ
İLE GÜÇLENDİRİLMİŞ GEÇİRİMLİ BETONUN FİZİKSEL VE
MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Emre KARAALİOĞLU tarafından hazırlanan tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Bekir ÇOMAK
Düzce Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Bekir ÇOMAK
Düzce Üniversitesi

Prof. Dr. Yılmaz KOÇAK
Düzce Üniversitesi

Doç. Dr. Gökhan DURMUŞ
Gazi Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: 04/07/2023

BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.

04 Temmuz 2023

Emre KARAALIOĞLU



TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimimde ve bu tezin hazırlanmasında gösterdiği her türlü destek ve yardımdan dolayı çok değerli hocam Doç. Dr. Bekir ÇOMAK' a en içten dileklerle teşekkür ederim.

Tez çalışmam boyunca birçok konuda yardım eden ve destek olan Araştırma Görevlisi Batuhan AYKANAT' a şükranlarımı sunarım.

Bu çalışma boyunca yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen sevgili aileme ve çalışma arkadaşlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

04 Temmuz 2023

Emre KARAALIOĞLU

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ŞEKİL LİSTESİ.....	vii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	ix
ÖZET.....	x
ABSTRACT.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
1.1. GENEL.....	1
2. GEÇİRİMLİ BETON.....	1
2.1. GENEL.....	1
2.2. GEÇİRİMLİ BETONUN KULLANIM ALANLARI.....	2
2.3. GEÇİRİMLİ BETONUN FAYDALARI.....	3
2.4. GEÇİRİMLİ BETONUN TARİHÇESİ.....	4
2.5. GEÇİRİMLİ BETONUN ÖZELLİKLERİ.....	5
2.5.1. Geçirimli Betonun Üretiminde Kullanılan Malzemeler.....	5
2.5.1.1. Genel.....	5
2.5.1.2. Agregalar.....	5
2.5.1.3. Bağlayıcı Malzemeler.....	6
2.5.1.4. Su.....	7
2.5.1.5. Katkılar.....	7
2.5.2. Geçirimli Betonun Fiziksel Özellikleri.....	7
2.5.2.1. Genel.....	7
2.5.2.2. Basınç Dayanımı.....	8
2.5.2.3. Eğilme Dayanımı.....	8
2.5.2.4. Gözeneklilik.....	9
2.5.2.5. Geçirimsizlik.....	10
2.5.2.6. Dayanıklılık.....	11
2.5.2.7. Akustik Emilim.....	11
2.6. GEÇİRİMLİ BETONUN UYGULAMASI.....	12
2.6.1. Genel.....	12
2.6.2. Geçirimli Betonun Yerleştirilmesi.....	12
2.6.3. Kütle ve Bakım.....	14
2.7. AMAÇ VE KAPSAM.....	14
2.8. LİTERATÜR İNCELEMESİ.....	15
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	18
3.1. MATERYAL.....	18
3.2. YÖNTEM.....	20
3.2.1. Geçirimli Beton Karışım Tasarım Yöntemi.....	20
3.2.2. Numune Hazırlama.....	24
3.2.3. Test Prosedürü.....	26
3.2.3.1. Bazalt Agregası Deneyi.....	27
3.2.3.2. Beton Yoğunluk Deneyi.....	28
3.2.3.3. Kıvam Deneyi.....	28
3.2.3.4. Sertleşmiş Geçirimli Beton Yoğunluk, Boşluk İçeriği ve Su Emme Deneyi.....	29
3.2.3.5. Basınç Dayanımı Deneyi.....	29
3.2.3.6. Yarmada Çekme Deneyi.....	30

3.2.3.7. Eğilme Dayanımı Deneyi	31
3.2.3.8. Geçirimsizlik Deneyi	32
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	35
4.1. BULGULAR.....	35
4.1.1. 1. AŞAMA	35
4.1.1.1. Bazalt Agregası Deney Sonuçları	35
4.1.1.2. Geçirimsiz Beton Karışımlarının Kıvam Deney Sonuçları	35
4.1.1.3. Taze Beton Yoğunluk Deney Sonuçları	36
4.1.1.4. Boşluk Oranı ve Yoğunluk Deney Sonuçları	37
4.1.1.5. Basınç Dayanımı Deney Sonuçları	38
4.1.1.6. Boşluk Oranı-Basınç Dayanımı İlişkisi	40
4.1.1.7. Geçirimsizlik	40
4.1.1.8. Yarmada Çekme Dayanımı	42
4.1.2. 2. AŞAMA	43
4.1.2.1. Basınç Dayanımı	43
4.1.2.2. Geçirimsizlik	44
4.1.2.3. Yarmada Çekme Dayanımı	46
4.1.2.4. Eğilme Dayanımı	46
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	53
6. Kaynaklar	56
ÖZGEÇMİŞ	59

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1. Kırsal alanda ve kentsel alanda buharlaşma, terleme ve sızma oranları [3].	1
Şekil 1.2. Kentsel alanlarda geçirimsiz kaplamalar ve sonuçları (a) bisiklet yolu (b) spor sahası (kişisel arşiv).....	2
Şekil 2.1. Yağmur suyu ve yüzey akışının yarattığı sorunlar(anonim).	1
Şekil 2.2. Geçirimli beton[6].	2
Şekil 2.3. Geleneksel beton ile geçirimli beton karşılaştırması.	3
Şekil 2.4. Geçirimli betonun peyzaj alanlarında kullanımı(anonim).....	4
Şekil 2.5. Geçirimli betonun su miktarının işlenebilirliğe etkisi a) karışımda az su ilavesi, b)ideal su ilavesi, c) fazla su ilavesi [15].....	7
Şekil 2.6. Basınç dayanımı boşluk oranı arasındaki ilişki[33].	8
Şekil 2.7. Eğilme dayanımı ve boşluk oranı arasındaki ilişki[37].	9
Şekil 2.8. Agregta boyutunun gözenek boyutuna etkisi [37].....	10
Şekil 2.9. Boşluk oranı geçirimsizlik ilişkisi [11].....	10
Şekil 2.10. Geçirimi betonun ses emme özelliğinin ölçülmesi için empedans tüpü[37].	11
Şekil 2.11. Geçirimli beton uygulama kesiti [6].	12
Şekil 2.12. Geçirimli beton döküm işlemi [6].	13
Şekil 2.13. Geçirimli betonunu silindir master ile sıkıştırılması [6].....	13
Şekil 2.14. Geçirimli beton bakım işlemleri [6].	14
Şekil 3.1. Bazalt fiber örgü	19
Şekil 3.2. Süreç şeması.	20
Şekil 3.3. Karışım tasarım rehberi.	21
Şekil 3.4. Karışım kodlarının açıklaması.....	21
Şekil 3.5 Bazalt fiber örgü takviyeli geçirimli betonda fiber örgünün konumu.	23
Şekil 3.6. Geçirimli beton birinci aşama numune hazırlama.	25
Şekil 3.7. a) Silindir numuneler b) Prizma numuneler.	26
Şekil 3.8. Sıkıştırma ve mastarlama işleminde kullanılan silindir demir profil.	26
Şekil 3.9. Bazalt agregası deney görselleri.	28
Şekil 3.10. Geçirimli betona kartopu deneyi yapılması.....	29
Şekil 3.11. Basınç test cihazı ve geçirimli beton numunesi.....	30
Şekil 3.12. Silindir geçirimli beton numunelerinin basınç deneyi.....	30
Şekil 3.13. Küp numunelerin yarmada çekme dayanım testi.	31
Şekil 3.14. Eğilme dayanımı tayini deney düzeneği.....	32
Şekil 3.15. Küp numunelerde geçirimsizlik deney düzeneği.....	33
Şekil 3.16. Silindir numunelerde geçirimsizlik deney düzeneği.....	33
Şekil 4.1. Taze beton yoğunluk deney sonuçları.	37
Şekil 4.2. Geçirimli beton numunelerinin yoğunluk ve boşluk oranı değerleri.....	38
Şekil 4.3. Basınç dayanımı sonuçları.....	39
Şekil 4.4. Boşluk oranı-basınç dayanımı ilişkisi.....	40
Şekil 4.5. Geçirimsizlik sonuçları.	41
Şekil 4.6. Basınç dayanımı-geçirimsizlik-boşluk oranı ilişkisi.....	42
Şekil 4.7. Yarmada çekme dayanımı sonuçları.....	43
Şekil 4.8. 2. aşama silindir numune basınç dayanım sonuçları.	44
Şekil 4.9. 2. aşama geçirimsizlik deney sonuçları.	45
Şekil 4.10. 2. aşama yarmada çekme deney sonuçları.....	46
Şekil 4.11. %20 macun hacmine sahip fiber örgü takviyeli geçirimli betonun yük-yer	

değişirme grafiği.	47
Şekil 4.12 %25 macun hacmine sahip fiber örgü takviyeli geçirimli betonun yük-yer değişirme grafiği.	48
Şekil 4.13. %25 macun hacmine sahip 2 kat bazalt fiber örgü takviyeli geçirimli betonun (PCF-25-2) yük- yer değişirme grafiği.....	49
Şekil 4.14 Bazalt fiber örgü takviyeli geçirimli beton numunelerinin yük-yer değişirme grafiği.	51



ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Çizelge 2.1. Geçirimli yol kaplamasının kirleticileri tutma etkinliği, kütle olarak % [15]	4
Çizelge 3.1. Çalışmada kullanılan çimentonun kimyasal ve mekanik özellikleri.	18
Çizelge 3.2. Çalışmada kullanılan katkının teknik özellikleri.	19
Çizelge 3.3. Bazalt fiber örgü teknik özellikleri	19
Çizelge 3.4. Geçirimli beton karışım oranları (1m ³ için).	22
Çizelge 3.5. 2. aşama geçirimli beton karışım oranları.	23
Çizelge 3.6. Bazalt agregası ve geçirimli beton numuneleri üzerinde yapılan deneyler.	27
Çizelge 3.7. İkinci aşama geçirimli beton numuneleri üzerinde yapılan deneyler.	27
Çizelge 4.1. Bazalt agregalarının fiziksel özellikleri.	35
Çizelge 4.2. Kıvam deney sonuçları.	36
Çizelge 4.3 Bazalt fiber örgü takviyeli geçirimli beton numunelerinin eğime dayanımları.	49
Çizelge 4.4. Fmax, 2 mm, 6 mm, 10 mm ve test sonu sonuçlarına göre maksimum yük ve tokluk değerleri.	51

ÖZET

BAZALT AGREGA İLE ÜRETİLMİŞ VE BAZALT FİBER ÖRGÜ İLE GÜÇLENDİRİLMİŞ GEÇİRİMLİ BETONUN FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Emre KARAALIOĞLU

Düzce Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Bekir ÇOMAK

Temmuz 2023, 58 sayfa

Kentleşmenin ve beton yapıların hızla artması ile yollar, kaldırımlar, park ve bahçelerde kullanılan geçirimsiz kaplamalar kent içi taşkın ve su baskınlarına sebep olmaktadır. Bu sebeple sürdürülebilir çözümlere her zaman olduğundan daha fazla ihtiyaç duyulmaktadır. Geçirimsiz kaplamalara alternatif bir çözüm olarak, son yıllarda yaygın olarak araştırılan gözenekli yapısı sayesinde suyun verimli bir şekilde iletimini sağlayan geçirimli betonlar ön plana çıkmaktadır. Bu çalışma kapsamında geçirimli betonlara bazalt fiber örgü takviyesi yapılarak mekanik özelliklerinin değişimi araştırılmıştır. Çalışma iki aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşamada, üç farklı agrega gradasyonu (%100 10-15 mm, %50 5-10 mm + %50 10-15 mm, %100 5-10 mm) ve üç farklı çimento macun hacmi (%15, %20 ve %25) kullanılarak geçirimli beton numuneleri üretilmiştir. Üretilen numuneler üzerinde taze beton birim hacim ağırlığı, boşluk oranı, basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı, geçirimsizlik deneyleri gerçekleştirilerek geçirimli betonların fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiştir. Birinci aşama sonunda en iyi performans veren geçirimli beton tasarımları seçilmiştir. İkinci aşamada ise, en uygun karışım tasarımları kullanılarak, üretilen geçirimli beton numunelerinin yüksekliklerinin 1/3, 2/3üne gelecek şekilde tek kat ve çift kat bazalt fiber örgü takviyesi yapılmıştır. Referans (Bazalt fiber örgü takviyesi olmayan), bazalt fiber örgü takviyeli (Tek katlı, 2 katlı) olarak üretilen geçirimli betonların fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemek için basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı, geçirimsizlik ve eğilme dayanımı deneyleri üretilen numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak; bazalt fiber örgü takviyesi geçirimli betonların gözenekliliğini artırarak, betonların geçirimsizliğini %122 oranına kadar artırmıştır. Ancak gözenekliliğin artmasıyla birlikte, bazalt fiber örgü katmanları agregalar arası bağı zayıflatarak basınç, çekme ve eğilme dayanımlarında sırasıyla %60, %23 ve %22 oranlarında düşüslere neden olmuştur. Geçirimli betonların yük-yer değiştirme grafikleri incelendiğinde, betonların yük taşıma kapasitesi sonlanmasına rağmen, bazalt fiber örgü takviyeli olan numunelerin yük taşımaya devam ettiği görülmüştür. Çift kat bazalt fiber örgü takviyeli geçirimli beton numunelerinin tokluk değerleri referans geçirimli beton numunelere göre %1700lere varan oranda daha yüksek bir değere sahip olmuştur. Bazalt fiber örgü takviyesi yapılarak geçirimli betonun mekanik özelliklerinin artırılabilceği ve kaplama betonu olarak bazalt fiber örgü takviyeli geçirimli betonların rahatlıkla kullanılabilir olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar sözcükler: Bazalt agrega, Fiber örgü, Geçirimli beton, Poroz beton.

ABSTRACT

DETERMINATION OF PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF PERVIOUS CONCRETE PRODUCED WITH BASALT AGGREGATE AND REINFORCED WITH BASALT FIBER MESH

Emre KARAALIOĞLU

Düzce University

Graduate School, Department of Civil Engineering

Master's Thesis

Supervisor: Doç. Dr. Bekir ÇOMAK

Temmuz 2023, 58 pages

With the rapid increase in urbanization and concrete structures, impermeable coatings used in roads, pavements, parks and gardens cause urban flooding. For this reason, sustainable solutions are needed more than ever. As an alternative solution to impermeable coatings, pervious concretes, which thanks to their porous structure, which provides efficient transmission of water and have been widely researched in recent years, have come to the forefront. Within the extent of this study, the change of mechanical properties of pervious concretes was investigated by reinforcing basalt fiber mesh. The study consists of two stages. In the first stage, three different aggregate gradations (100% 10-15 mm, 50% 5-10 mm + 50% 10-15 mm, 100% 5-10 mm) and three different cement paste volumes (15%, 20% and 25%) were used to produce pervious concrete samples. The physical and mechanical properties of pervious concrete were determined by performing fresh concrete unit weight, void ratio, compressive strength, split tensile strength, permeability tests on the samples produced. At the end of the first stage, the best performing pervious concrete designs were selected. In the second stage, single layer and double layer basalt fiber mesh reinforcement was made by using the most suitable mixture designs, in a way to reach 1/3, 2/3 of the height of the produced pervious concrete samples. In order to determine the physical and mechanical properties of pervious concretes produced as reference (without basalt fiber mesh reinforcement) and basalt fiber mesh reinforced (single layer, 2-layer), compressive strength, splitting tensile strength, permeability and bending strength tests were carried out on the produced samples. In conclusion; basalt fiber mesh reinforcement increased the porosity of the pervious concretes, increasing the permeability of the concretes up to 122%. However, with the increase in porosity, basalt fiber lattice layers weakened the bond between aggregates, causing decreases in compressive, tensile and flexural strengths of 60%, 23% and 22%, respectively. When the load-displacement graphs of pervious concretes are examined, it is seen that the samples with basalt fiber mesh reinforcement continue to carry loads, even though the load carrying capacity of the concretes is terminated. The toughness values of the permeable concrete samples reinforced with double basalt fiber mesh were up to 1700% higher value than the reference pervious concrete samples. It has been concluded that the mechanical properties of pervious concrete can be increased by reinforcing basalt fiber mesh and in areas where pervious concrete is used as cladding concrete, permeable concrete reinforced with basalt fiber mesh can also be used easily.

Keywords: Basalt aggregate, Fiber mesh, Pervious concrete, Porous concrete.

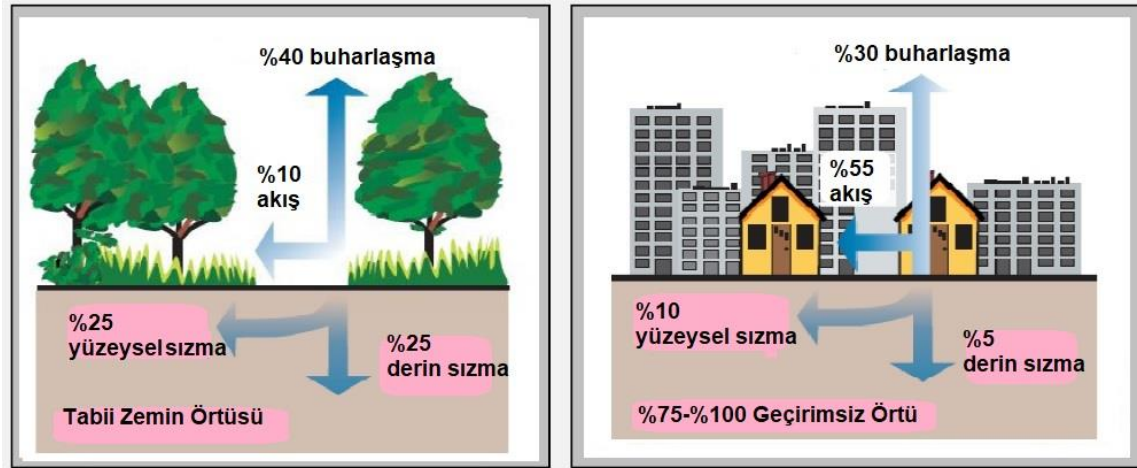
1. GİRİŞ

1.1. GENEL

Kentleşmeden kaynaklanan en büyük sorun, çevreye doğrudan etkisi olan yürüyüş yolları, inşa edilmiş alanlar, yol ağları gibi geçirimsiz yüzeylerin sayısındaki artıştır. Bu geçirimsiz yüzeyler taşkın ve su baskınları gibi çeşitli problemlere yol açmaktadır [1].

Kentsel alanlar, genelde, daha düz alanlarda (ovalarda) bulunmaktadır. Dolayısıyla, kentsel alanlarda yeraltı suyu seviyeleri düşük kotlara sahiptir ve bu kısımdaki yeraltı suyunu besleyen alanlar ya kentsel alanın kapladığı bölge ya da daha yüksek coğrafi konuma sahip olan tepeler ve dağlardır. Yeraltı suyu beslenmesine katkıda bulunan kentsel alanlardaki geçirimsiz yüzeylerin artışı yeraltına sızmayı azaltmaktadır [2].

Yapılan araştırmalar sonucu doğal zeminlerde yüzey akışı %10, infiltrasyon (sızma) %50 ve evapotranspirasyon (buharlaşma ve terleme) %40 olurken; yeşil alanları yok edilmiş kentlerde ise yüzey akışı %55, infiltrasyon %15 ve evapotranspirasyon %30 olarak tespit edilmiştir [3].



Şekil 1.1. Kırsal alanda ve kentsel alanda buharlaşma, terleme ve sızma oranları [3].

Ülkemizin topografik koşulları ve yağış durumu ele alındığında, yaz ve bahar aylarında görülen konvektif faaliyetler ve yine kış mevsimlerinde görülen uzun süreli cephesel sistemler sel ve su baskınlarına neden olmaktadır. Yurdumuzu etkileyen Orta Akdeniz siklonları yıl içerisinde kış mevsiminde, Balkanlar yoluyla yurdumuzu etkileyen siklonlar

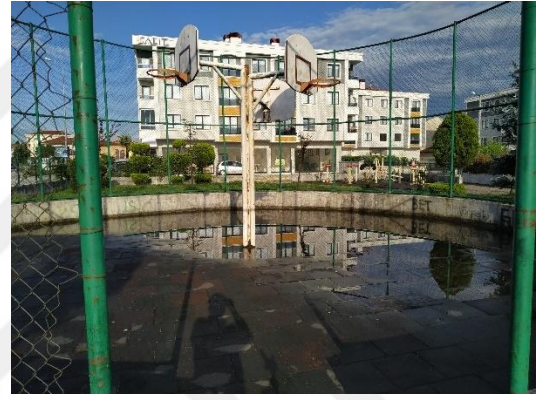
da bahar aylarında şiddetli yağış ve sellere neden olmaktadır [4].

Taşkınların doğal afet haline gelmesinde en büyük etken, insan kaynaklı oluşumlardır. Bunlar plansız ve yanlış arazi kullanımı, çarpık yapılaşma, tarım alanları ile orman ve yeşil alanların yok edilmesi, hızlı şehirleşme, havza ve dere yatakları ile taşkın alanlarında yapılaşma ve benzeri diğer oluşumlardır.

Kentlerde geçirimsiz kaplamaların neden olduğu iklimsel değişikliklerin yanında spor alanları, bisiklet yolları, sokaklar ve kaldırımlarda geçirimsiz kaplamaların kullanılmış olması, bu alanların şiddetli yağmur sonrası uzun bir süre hizmet verememesine neden olmaktadır (Şekil 1.2).



(a)



(b)

Şekil 1.2. Kentsel alanlarda geçirimsiz kaplamalar ve sonuçları (a) bisiklet yolu (b) spor sahası (kişisel arşiv).

Tüm bu problemlere çözüm olarak; Geçirimli Beton, suya duyarlı kentsel tasarım alanında yapılan çalışmalarda önemli bir yere sahiptir. Yağmur suyu yönetimine entegre bir yaklaşım, suya duyarlı kentsel tasarımın anahtarıdır. Bu entegre yaklaşım, yağmur suyunu bir yükten ziyade bir kaynak olarak görür ve çevresel, sosyal ve kültürel konular da dahil olmak üzere bir kalkınmadaki akışın tüm yönlerini dikkate alır. Kentsel yüzey akışını suya duyarlı bir şekilde yönetmek, yalnızca yağmur suyuyla ilgili sorunları çözmekle kalmaz, aynı zamanda kentsel peyzajın sosyal ve çevresel güzelliğini de artırır. Pik akışları azaltmak ve daha doğal bir yağmur suyu sistemi sağlamak, drenaj altyapısının sermaye ve bakım maliyetlerini de potansiyel olarak azaltabilir.

2. GEÇİRİMLİ BETON

2.1. GENEL

Hızla artan nüfus ve gelişen inşaat ekonomisine bağlı olarak sürdürülebilir çözümlere her zaman olduğundan daha fazla ihtiyaç duyulmaktadır. Kentleşmenin artması ile yollar, kaldırımlar, park ve bahçelerde kullanılan geçirimsiz yüzeyler sebebiyle taşkın ve kent içi su baskınları kaçınılmaz olmaktadır [1]. Geçirimsiz yüzeylerin artmasıyla daha az miktarda yağmur suyu yer altına sızar ve çok daha fazla yağmur suyu drenaj sistemlerine aşırı yüklemeye yaratan yüzey akışları meydana getirir [5]. Şehirleşmenin her geçen gün artması ve azalan yağış oranları ile birlikte özellikle şehirlerde yer altı su sistemine her yıl daha fazla zarar verilmektedir [6]. Ülkeler bu sorunu çözmek için farklı tasarım konseptleri ve planları oluşturmaktadır. ABD’de “Düşük Etkili Kalkınma” [7], Avustralya’da “Suya Duyarlı Tasarım” [8], Japonya’da “Yağış Depolama ve Sızma” [9], İngiltere’de “Sürdürülebilir Drenaj Sistemleri” [10] ve Çin’de “Sünger Şehir” [11] isimleriyle planlar oluşturulmaktadır.



Şekil 2.1. Yağmur suyu ve yüzey akışının yarattığı sorunlar(anonim).

Geçirimsiz kaplamaların neden olduğu diğer bir çevresel problem; yüzey kirleticilerinin (akaryakıt, atık yağlar, kimyasal maddeler gibi) yağmur suyu drenaj sistemleri ile taşınarak temiz su kaynaklarını kirletmesidir [12]. Geçirimsiz kaplamaların neden olduğu sorunlardan bir diğeri de şehirlerde en çok bahsedilen mikroklimatik sorun olan, kentsel ısı adası etkisidir. Bu, güneşten gelen radyasyon, şehrin bina ve sokaklarının açıkta kalan beton, duvar, tuğla ve asfaltına emildiğinde meydana gelir. Bu enerjinin bir kısmı gece şehir dokusundan yansıtılır. Araçlardan, klimalardan ve endüstriyel işlemlerden gelen atık ısı da soruna katkıda bulunabilir. Şehirlerde toprak ve nem eksikliği, buharlaşmalı

soğutmanın azalması anlamına gelmektedir. Bir milyondan fazla nüfusu olan şehirler, hem kış hem de yaz aylarında çevredeki kırsal alanlardan tipik olarak birkaç derece daha sıcaktır ve sıcak yaz gecelerinde bazı şehirler, komşu kırsal alanlardan 10 °C' den daha sıcak olabilir. Kentsel ısı adasının neden olduğu yüksek binalar ve güçlü termikler, yaz fırtınalarını yeniden canlandırabilir veya yoğunlaştırabilir, böylece ani yoğunlaşan yağışlara neden olabilir [13].

Ani yağışlara, su baskınlarına, yüzey kirleticilerine ve kentsel ısı adası etkisine çözüm olarak, geçirimli beton mükemmel bir alternatiftir. Gözenekli yapısı sayesinde suyun iletilebilmesini ve verimli bir şekilde drenajını sağlayan geçirimli betonlar üzerine çalışmalar son zamanlarda yoğunlaşmıştır [14]. Geçirimli beton, geleneksel betondan farklı olarak; ince agregaya içermeyen ya da çok az içeren, %15-%35 boşluk oranına sahip, suyun bu boşluklardan tahliye edilmesine imkân sağlayan, tipik olarak 2,8 ila 28 MPa arasında basınç dayanımına, 81-730 L/dak/m² su geçirgenliğine sahip bir beton türüdür [12].



Şekil 2.2. Geçirimli beton [6].

2.2. GEÇİRİMLİ BETONUN KULLANIM ALANLARI

Geçirimli betonun kullanımı her geçen gün artmakta ve geniş kullanım alanları sunmaktadır:

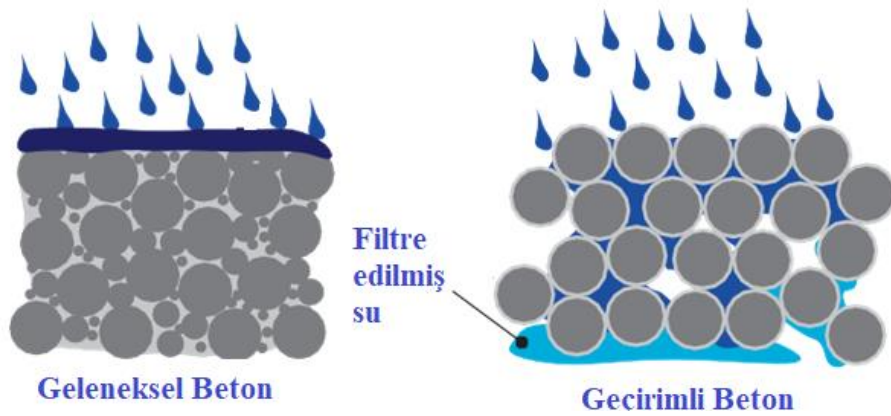
- Otopark alanlarında,

- Hafif ve orta trafik yükü altındaki sokaklar ve kaldırım zeminlerinde,
- Sera zeminlerinde,
- Parklar ve spor tesislerin zeminlerinde,
- Hayvanat bahçesi zeminlerinde,
- Yüzme havuzu güvertelerinde,
- Plaj ve kıyı yapılarında

halen kullanılmaktadır.

2.3. GEÇİRİMLİ BETONUN FAYDALARI

Geçirimli betonun yüksek oranda içerdiği boşluklardan suyu drene edebilmesi, yağmur suyunu yer altına süzerek yüzeysel su akışını azaltması, yeraltı su kaynaklarını koruması, sürdürülebilir inşaatı desteklemesi, çevre ile alakalı endişeleri gidermeye yönelik çözümler sağlaması sebebiyle Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Dairesi tarafından “En İyi Yağmur Suyu Çözümlerinden Biri” olarak tanımlanmış ve yerleşim yoğunluğu düşük bölgelerde uygulama önerisi getirilmiştir [15]. Boşluklu yapısı sayesinde geleneksel betonlara göre önemli ölçülerde ses emilimi sağlamasından dolayı geçirimli beton çok iyi bir ses absorpsiyon aracıdır [16].



Şekil 2.3. Geleneksel beton ile geçirimli beton karşılaştırması.

Geçirimli beton yüzey kirleticilerini uzaklaştırma konusunda da en iyi alternatif malzemedir. Haselbach ve ark. tarafından yapılan çalışmada geçirimli betonun yağmur suyundaki bakır ve çinko kirleticileri uzaklaştırmada etkili olduğu, sırasıyla çinko ve bakır için %90 ve %87 oranında kirleticilerde azalma olduğu bildirilmiştir [17].

Çizelge 2.1'de Birleşik Devletlerde yapılan 2 ayrı çalışma sonucu geçirimli betonun yüksek kirletici madde tutma oranları gösterilmektedir [15].

Çizelge 2.1. Geçirimli yol kaplamasının kirleticileri tutma etkinliği, kütle olarak % [15].

Çalışma Yeri	Toplam Askıda Atık	Toplam Fosfor	Toplam Nitrojen	Kimyasal Oksijen İhtiyacı	Metaller
Prince William, VA	82	65	80	-	-
Rockville, MD	95	65	85	82	98-99

Geçirimli beton ayrıca yağışları toplayıp topraktan sızmasına izin vererek yeraltı suyu ve akifer şarjını artırır, drenaj kanallarından pik su akışını azaltır ve su basmalarını en aza indirir [15].

Kentsel alanlarda birçok bitki/ağaç geçirimsiz yol üst yapıları, kaldırımlar ve çevre düzenlemeleri ile kaplanmış alanlarda yetersiz hava ve su nedeniyle büyümekte güçlük çekerler. Geçirimli beton ile inşa edilmiş yol ve kaldırımlarda ağaçların daha fazla hava ve su almasına izin verir [15].



Şekil 2.4. Geçirimli betonun peyzaj alanlarında kullanımı (anonim).

2.4. GEÇİRİMLİ BETONUN TARİHÇESİ

Geçirimli beton özellikle İkinci Dünya Savaşı'nın ardından, yenilenemeyen mineral kaynaklarına ve enerjinin korunmasına dikkat çekmesiyle geniş bir kabul görmüştür [14]. Geçirimli beton, on dokuzuncu yüzyılın ortalarından beri bina yapımında kullanılmaktadır. Avrupa ülkeleri farklı şekillerde geçirimli beton kullanmıştır. Tek ve çok katlı evlerde ve bazı durumlarda yüksek katlı binalarda, prefabrik paneller ve buharla

kürlenmiş prefabrik duvar elemanları olarak kullanılmıştır. 1852’de, geçirimli beton ilk olarak Birleşik Krallık’ta (İngiltere) iki evin yapımında kullanıldı. Bu beton sadece kaba çakıl ve çimentodan oluşuyordu. 1930’ların sonlarında, İskoç Özel Konut Birliği Limited konut inşaatı için geçirimli beton kullanımını kabul etti. 1942 yılına kadar 900’den fazla ev inşa etmek için geçirimli beton kullanılmıştır [15].

1939’dan 1945’e kadar, II. Dünya Savaşı’nın tahribatı, neredeyse tüm Avrupa’yı geniş konut ihtiyaçları ile terk etti, bu da yeni veya daha önce kullanılmamış bina inşaat yöntemlerinin geliştirilmesini teşvik etti. Özellikle aralarında geçirimli beton vardı. Geçirimli beton, konvansiyonel betonla karşılaştırıldığında birim hacim beton başına daha az çimento kullanmıştır ve malzeme insan gücünün az veya pahalı olduğu yerlerde avantajlıdır. Yıllar boyunca, geçirgen beton sistemi İngiltere, Almanya, Hollanda, Fransa, Belçika, İskoçya, İspanya, Macaristan, Venezuela, Batı Afrika, Orta Doğu, Avustralya ve Rusya’da yeni evlerin üretimine önemli ölçüde katkıda bulundu. Almanya bu sistemi kullandı, çünkü büyük miktarlarda tuğla molozun atılması savaştan sonra bir problemdi ve bu da geçirimli betonun özelliklerini araştırmaya yol açtı [12].

2.5. GEÇİRİMLİ BETONUN ÖZELLİKLERİ

2.5.1. Geçirimli Betonun Üretiminde Kullanılan Malzemeler

2.5.1.1. Genel

Geçirimli beton karışımı hazırlanması, geleneksel betona benzemektedir. Ancak bazı farklılıklar bulunmaktadır. Geçirimli beton üretimi için ana felsefe; boşluk oranı, mukavemet, çimento macunu içeriği ve işlenebilirlik arasında denge sağlamaktır [12]. Geleneksel betona göre çökme değerleri düşüktür. Bu yüzden işlenmesi daha zordur. Birim ağırlıkları geleneksel betonun %70’i kadardır (yaklaşık olarak 1600 - 2000 kg/m³) [15].

2.5.1.2. Agregalar

Geçirimli beton karışımları hazırlanırken agrega olarak geleneksel betondan farklı şekilde tek tip veya dar gradasyonlu agrega kullanılır. ACI (American Concrete Institute) Committee 522 çalışma gurubu tek bir iri agrega boyutunun kullanılması ve böyle bir kullanımda D_{max} ’ın 12,5 mm seçilmesini önermektedir [12]. İnce agrega geçirimlilik oranını direkt etkilediği için kontrollü kullanılması önerilir. Toplam agreganın ağırlığına

%5-7 oranında ince agrega kullanımı, geçirimli betonun mukavemetini arttırmaktadır, ancak ince agreganın eklenmesinin betonun geçirimliliğini azalttığı bir gerçektir [18]. Sahdeo ve ark. geçirimli betonda kullanılacak agrega için optimum tasarımın 10 mm ve 4,75 mm agreganın karışımından meydana geldiğini bildirmişlerdir [19]. Yu ve ark. tane boyutu 7 mm'nin üzerinde olan agregaların geçirimli betonun mukavemet özelliklerini arttırmadığı sonucuna varmıştır [20]. Bu yüzden geçirimli betonda agrega gradasyonu seçimi geçirgenlik katsayısı ve mukavemetini büyük ölçüde belirlemektedir. Bu parametreler birbiri ile ters orantılıdır. Daha büyük agregalar daha büyük boşluklara neden olacak, daha fazla geçirimlilik ve daha az mukavemete yol açacaktır [21].

Geleneksel betonda kullanılan kireçtaşı agreganın yanı sıra bazalt agregası da betonda kullanılabilir. Bazalt dünyanın birçok bölgesinde bulunabilen sert, yoğun volkanik bir kayadır. Uzun yıllar mimari uygulamalarda karo ve mozaik döşeme yapımında kullanılmıştır. Zamanla kırma bazalt taş beton üretiminde yerini almıştır [22]. Genellikle otoyol ve havalimanı kaplamalarında kullanım alanı bulmuştur. Bazalt agregası yüksek aşınma dayanımı ve UV dayanımı sağlamaktadır. Bazalt agregasının özgül ağırlığı geleneksel kireçtaşı agregasına göre daha yüksek, aşınma kaybı ve su emmesi daha düşüktür [23].

Doğal kaynakların ve çevrenin korunması ve enerji tasarrufları amacıyla sürdürülebilir inşaat teknolojilerin her geçen gün önemi arttığından geçirimli beton üretiminde geri dönüştürülmüş agrega kullanımı bir hayli yaygındır [24-26]. Geri dönüşmüş agregaların gözenekli yapısının çimento hamurundaki suyu emmesi sebebiyle basınç ve eğilme dayanımlarının düştüğü ancak geçirimlilik özelliklerinin arttığı bildirilmiştir. Bu sebeple geri dönüştürülmüş agrega geçirimli betonda kontrollü kullanılmalıdır [25].

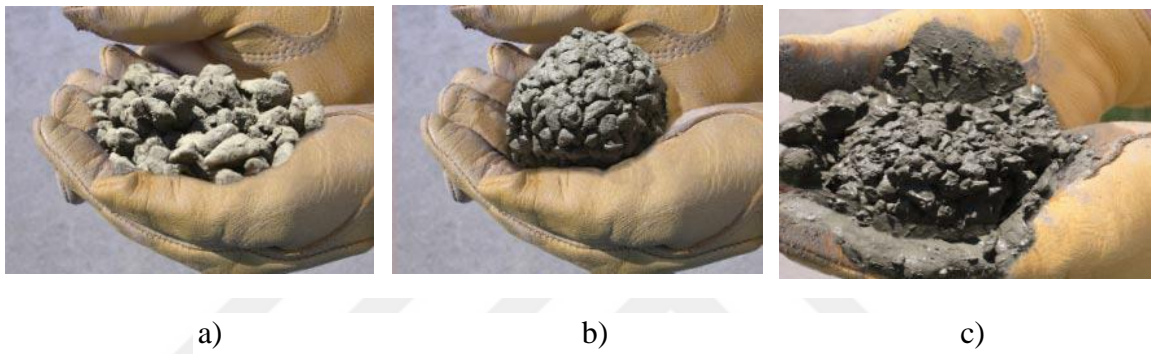
2.5.1.3. Bağlayıcı Malzemeler

Geçirimli betonda geleneksel beton gibi portland çimentosu ana bağlayıcı olarak kullanılmaktadır. Portland çimentosuna ilave veya ikame olarak uçucu kül, öğütülmüş yüksek fırın cürufu, silis dumanı gibi puzolanlar kullanılabilir [15]. Yüksek miktarda bağlayıcı, tıkanmaya, boşlukların azalmasına ve geçirgenliğin azalmasına neden olabilir. Ayrıca sürdürülebilirliğe yönelik olarak çimento yerine alkali cüruf ve polimer çeşitleri de kullanılabilir [27]. Farklı agrega boyutlarından oluşan geçirimli beton için dijital mikroskop kullanarak macun kalınlığı belirlenmiştir. Macun kalınlığının artmasıyla geçirimli betonun dayanım özelliklerinin arttığı, gözeneklilik ve geçirimlilik

gibi özelliklerinin azaldığı bildirilmiştir [28].

2.5.1.4. Su

Geleneksel beton gibi geçirimli beton için su miktarı çok önemlidir. Literatürde 0,30-0,40 arasında değişen su/çimento oranları yer almaktadır. Fazla miktarda su kullanımı çimento hamurunun akmasına ve geçirimliliğin kaybolmasına sebep olur. Ayrıca fazla miktarda su kullanımı agrega yüzeyinde daha az miktarda macun oluşturacak ve basınç dayanımında düşüşe sebep olacaktır [27]. Şekil 2.5'te yetersiz su miktarı, fazla su miktarı ve doğru su miktarının kullanılması sonucu geçirimli betonun kıvam durumu görülmektedir.



Şekil 2.5. Geçirimli betonun su miktarının işlenebilirliğe etkisi a) karışımda az su ilavesi, b) ideal su ilavesi, c) fazla su ilavesi [15].

2.5.1.5. Katkılar

Su azaltıcı katkı maddelerinin (naftalen sülfonat ve polikarboksilat esaslı) kullanılması, düşük su/çimento oranında işlenebilirliği artırır ve çimento hidrasyon ısını azaltarak işlenebilirliği arttırmak için kullanılır [29]. Geçirimli betonda kullanılacak katkıları genellikle sıkı su/çimento kontrolü gerektirdiğinden ve priz alma süresi kısa olduğundan priz geciktirici katkıları tercih edilmelidir [12]. Hava sürükleyici katkı kullanımının geçirimli betonda donma çözünme dayanımını arttırdığı bildirilmiştir [30].

2.5.2. Geçirimli Betonun Fiziksel Özellikleri

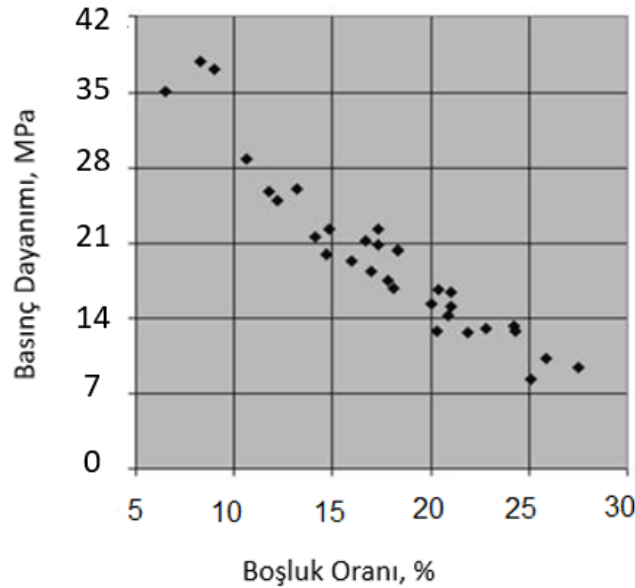
2.5.2.1. Genel

Geçirimli betonların fiziksel özellikleri karışımın boşluk oranı ile doğrudan ilişkilidir. Bu durum da çimento miktarına, kullanılan su/çimento oranına, sıkıştırma yöntemine ve agrega boyutuna göre değişmektedir. Geçirimli betonun fiziksel özelliklerinin ayrı test

standartları ile yapılmasına yönelik ASTM ve ACI Committie 522 çalışmalarını sürdürmektedir [12].

2.5.2.2. Basınç Dayanımı

Geçirimli betonun basınç dayanımı doğrudan boşluk oranı ile ilişkilidir. Şekil 2.6'te geçirimli betonun boşluk oranı ile basınç dayanımı arasındaki ilişki gösterilmektedir.



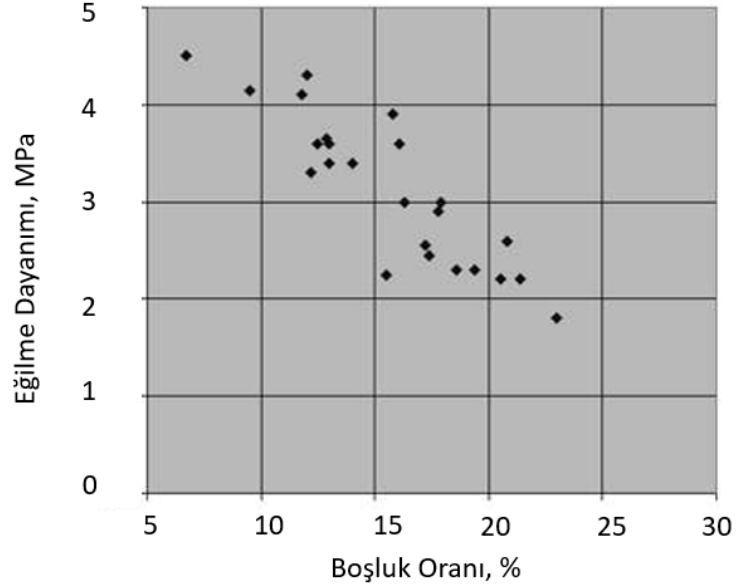
Şekil 2.6. Basınç dayanımı boşluk oranı arasındaki ilişki [31].

Boşluk oranı azaldıkça basınç dayanımı artmakta ve yüksek değerlere ulaştığı gözükmektedir. Ancak geçirimli betonun karakteristik özelliği su geçirirliğidir. Boşluk oranının azalması bu karakteristik özelliğinden ödün verilmesi demektir.

Geçirimli betonuna polimer ve çeşitli mineral katkıları ilave edilerek basınç dayanımının 50 MPa'a kadar çıkarıldığı bildirilmiştir [32]. Optimum çimentolu malzeme içeriği büyük ölçüde agrega boyutuna ve oranlamasına bağlıdır [33]. Geçirimli betonun 7 günlük dayanımının genellikle 28 günlük basınç dayanımının yaklaşık %65-70'i olduğu yapılan çalışmalar sonucunda bildirilmiştir [34].

2.5.2.3. Eğilme Dayanımı

Şekil 2.7'de geçirimli betonun eğilme dayanımı ve boşluk oranı arasındaki ilişki gösterilmektedir.



Şekil 2.7. Eğilme dayanımı ve boşluk oranı arasındaki ilişki [35].

Boşluk oranının artması basınç dayanımında olduğu gibi eğilme dayanımını da azaltmıştır.

Az miktarda ince agrega ilavesinin (%5) ve polimer katkı maddesi kullanımının geçirimli betonun eğilme mukavemetini arttırdığı gözlemlenmiştir [36]. Silis dumanı ve süper akışkanlaştırıcı kullanılarak eğilme dayanımının 6 MPa değerine ulaştırıldığı bildirilmiştir [32].

2.5.2.4. Gözeneklilik

Geçirimli betonda gözenek boyutları fiziksel özellikleri doğrudan etkileyen bir faktördür [12]. Daha büyük boyutlu gözenekler oluşturmak için daha büyük agrega boyutlarının kullanılması önerilmektedir. Bu durum aynı zamanda geçirimli betonun tıkanma olasılığını da azaltmaktadır [33]. Agrega boyutunun gözenek boyutuna etkisi Şekil 2.8'de gösterilmiştir.

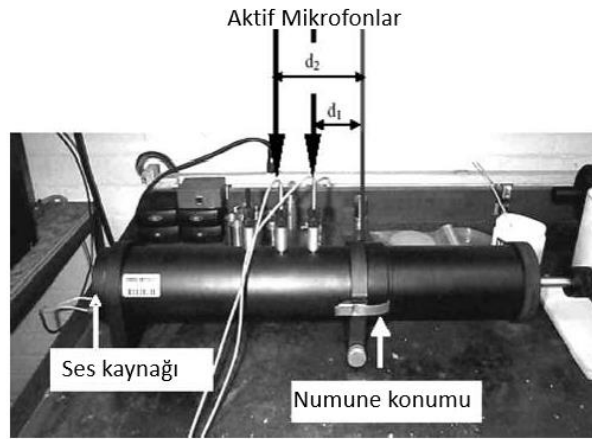
oranının artması, geçirimli betonun basınç dayanımını azaltacağından, karışım tasarımında optimum tasarım için kabul edilebilir bir geçirimsizlik ile kabul edilebilir basınç dayanımı arasında iyi bir denge sağlamak gerekmektedir [12].

2.5.2.6. Dayanıklılık

Geçirimli betonun, geleneksel beton gibi dayanıklılığını etkileyen faktörler; fiziksel etkiler, aşırı uç sıcaklıklar, sülfat ve asitlere maruz kalmayı içerir. Geçirimli betonun sülfat ve asitlere karşı dayanıklılığına dair çok az çalışma mevcuttur [12]. Yapılan araştırmalar çimento hamurundaki havanın sürüklenmesinin geçirimli betonun donma çözünmeye karşı direncini arttırabileceğini göstermektedir [32]. İnce agrega veya sentetik liflerin eklenmesinin donma-çözünme direncini arttırdığı bildirilmiştir [37].

2.5.2.7. Akustik Emilim

Geçirimli beton boşluklu yapısı nedeniyle içerisinde hava boşlukları meydana gelir ve bu ses dalgalarının odacıklarda hapsolarak iletimini engeller. Şekil 2.10'da geçirimli betonun ses emme özelliğini ölçmek kullanılan için empedans tüpü görülmektedir [35].



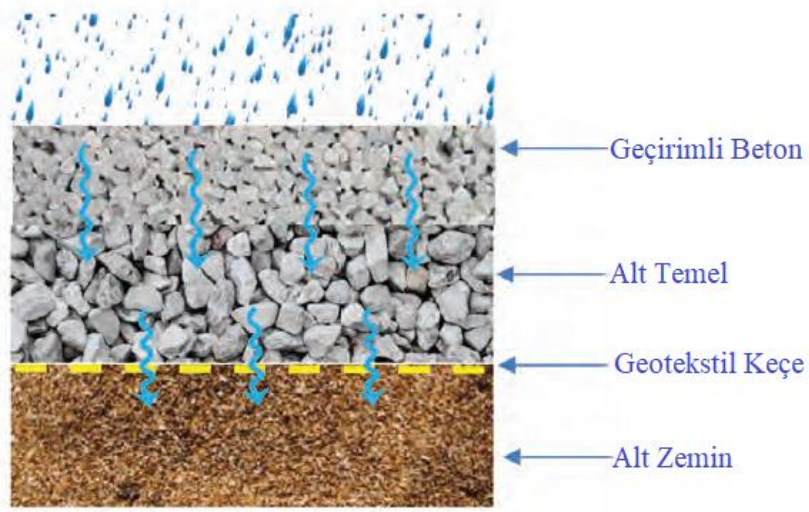
Şekil 2.10. Geçirimi betonun ses emme özelliğinin ölçülmesi için empedans tüpü[35].

Deney sonucunda emme katsayısı belirlenir ve 0-1 arası bir değer alır. Emilim katsayısı 0 olan bir malzeme tamamen yansıtıcı kabul edilir, 1 olan ise tamamen emici bir malzemedir. Tipik olarak geleneksel betonun ses emilim katsayısı 0,03- 0,05 arasında iken geçirimli betonun 0.1 ile yaklaşık 1 arasında değer almaktadır [35].

2.6. GEÇİRİMLİ BETONUN UYGULAMASI

2.6.1. Genel

Geçirimli betonun inşası geleneksel betondan farklıdır. Sert yapısı ve çok hızlı priz süresi sebebiyle özel nakliye ve yerleştirme işlemleri gerekmektedir. Geçirimli beton kaplama sistemi Şekil 2.11’de görüldüğü gibi üst kısımda geçirimli beton tabakası altında alt zemin ve alt temel tabakası bulunur. Alt zemin tabakasının geçirimsiz malzeme olması durumunda alt temel tabakasına drenaj boruları konulabilir. Bu durum aynı zamanda geçirimli betonun olası tıkanmalarının da önüne geçecektir [6].



Şekil 2.11. Geçirimli beton uygulama kesiti [6].

Genel olarak 12 mm/saat süzme oranına sahip topraklar (alt zemin tabakaları) geçirimli kaplamaların altında kullanılmak için uygundur. Çift halkalı infiltrasyon deneyi ile alt zemin tabakasının perkolasyon hızı ölçülebilir. Kil tabakalar ve diğer geçirimsiz tabakalar geçirimli kaplamanın performansını etkileyebilir. Çözüm olarak geçirimsiz tabakanın kaldırılması ve yerine uygun kalınlıkta gözenekli malzeme serilmesi gerekir [15].

Washington Agrega ve Beton Birliği'ne (WACA) göre, geçirimli beton katman kalınlığı yol kaplamaları için 10-13 cm, konut yollarındaki otoparklar için 13-15 cm ve ağır kamyon trafiği olan alanlar için 20-25 cm arasında olması gerektiği bildirilmiştir [38].

2.6.2. Geçirimli Betonun Yerleştirilmesi

Geçirimli betonun dökümü geleneksel betona benzemektedir; sırasıyla yerleştirme, sıkıştırma, mastarlama ve kürlenme aşamalarını içerir. Şantiye alanına mikser kamyonlar

ile getirilir ve dökümü mikser kamyon ile yapılır. Düşük su içeriği nedeniyle betonun döküm işlemi mümkün olduğu kadar hızlı yapılmalıdır.



Şekil 2.12. Geçirimli beton döküm işlemi [6].

Yerleştirme işleminden sonra geçirimli betonun performansını en çok etkileyen parametre olan sıkıştırma işlemine geçilir [39].



Şekil 2.13. Geçirimli betonunu silindir master ile sıkıştırılması [6].

Geçirimli betonun sıkıştırması silindir master ile yapılır. 60 kg/m ağırlığında motorlu silindir ve mastarlama sonrasında ise el silindiri ile sıkıştırma yapılmalıdır. Dar yerler veya küçük dökümler için daha küçük silindiler kullanılabilir [12]. Eğer aşırı sıkıştırılır ise geçirimsizliği azalır. Yetersiz sıkıştırma işlemi ise mukavemetinin azalmasına ve yüzey sökülmelerine neden olur [40].

2.6.3. Kürleme ve Bakım

Geçirimli betonun büzülme çatlakları geleneksel betona göre daha azdır. Ancak yine de derz kesimi yapılması önerilmektedir. Önerilen derz kesim mesafesi en fazla 6 metre olmalıdır [6]. Geçirimli betonun kürlenmesi normal betonlara göre daha önemlidir çünkü boşluklu yapısı nedeniyle doğru bir şekilde kürlenmezse mekanik özelliklerini etkileyecektir. Bunun için yüzey düzeltme işlemleri bitirildikten sonra polietilen örtüler ile kürleme işlemi gerçekleştirilir. Geleneksel betonda kullanılan sıvı kürleme bileşenlerinin geçirimli beton için uygun olmadığı bildirilmiştir [41].

Şekil 2.14'te geçirimli betonun bakım ve temizlenmesine ait çeşitli uygulamalar görülmektedir.



Şekil 2.14. Geçirimli beton bakım işlemleri [6].

Geçirimli beton zamanla çevresel etkilerden (kum, kir, bitkiler, atıklar gibi) kaynaklı tıkanmalar yaşayabilir ve bu geçirimsizlik özelliğinin azalmasına sebep olur. Bu nedenle düzenli periyodlar ile geçirimli betonun temizlenmesi gerekir. Vakumlama ve basınçlı yıkama yöntemleri en çok uygulanan yöntemlerdir [12].

2.7. AMAÇ VE KAPSAM

Bu çalışma ile geçirimsiz kaplamaların sebep olduğu kent içi sel, taşkın, su basma gibi problemleri en aza indirmek amacıyla geçirimli beton kullanımının yaygınlaştırılması ve geçirimli kaplamalarda mekanik özellikleri artırma hedeflenmektedir.

Geçirimli betonların boşluk muhtevaları (%15-30) mekanik dayanım performanslarını olumsuz yönde etkilediği bilinmektedir. Geçirimli betonun boşluk oranını ve geçirimsizlik özelliklerini azaltmadan mekanik özelliklerini artırmanın yolu donatı kullanmaktır. Lakin hava ve su ile sürekli temas halinde bulunan geçirimli betonda geleneksel

betondaki gibi demir donatı takviyeleri kullanılamamaktadır.

Bazalt fiber örgü ile takviye edilmiş geçirimli betonun performansını incelemek için farklı katmanlarda döküm gerçekleştirilerek, geçirimli betonun fiziksel özelliklerinde iyileştirme hedeflenmektedir.

Amaçlanan hedeflere ulaşmak için bazalt fiber örgü takviyeli geçirimli betonlara, geçirimsizlik, basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı ve eğilme dayanımı testleri yapılmıştır.

Geçirimli betona ait hedeflenen mekanik performanslara ulaşmak için tez çalışması iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamada, 5-10 mm ve 10-15 mm boyutlarında bazalt agregası kullanılarak, 3 farklı agrega gradasyonu ve 3 farklı su/çimento oranı ile 9 farklı deneme karışımları oluşturarak hazırlanan numuneler birim hacim ağırlık, kıvam, geçirimsizlik, basınç dayanımı ve çekme dayanımı deneylerine tabi tutularak optimum karışım oranı tayin edilmiştir. İkinci aşamada ise bu optimum karışım oranları ile hazırlanan numunelere bazalt fiber örgü takviyesi yaparak fiziksel ve mekanik özelliklerinin değişimi gözlenmiştir. Bazalt fiber örgü takviyeli numuneler, 3 farklı şekilde elde edilmiştir. Referans (0 katman), tek katman ve 2 katman bazalt fiber örgü takviyeli şeklinde üretilmiştir. Hazırlanan numuneler; basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı, eğilme dayanımı ve geçirimsizlik testlerine tabi tutulmuştur.

2.8. LİTERATÜR İNCELEMESİ

Geçirimli betonlar hakkında ulusal ve uluslararası standartların az olması, geçirimli betonun geleneksel betonlar gibi homojen bir yapıya sahip olmaması kaynaklı mekanik performansına etki eden değişkenin fazla olması nedenleriyle araştırmacılar geçirimli betonun davranışlarını analiz etmek ve mekanik özelliklerini, karakteristik geçirimsizlik özelliğinden ödün vermeden iyileştirmek için birçok farklı yöntem tercih etmişlerdir.

Genel olarak agrega derecelendirmesinde yapılan farklılıklar ile karışım tasarımının değiştirilmesi, ince malzemenin farklı oranlarda ilave edilmesi, farklı puzolanlar ve mineral takviyeleri kullanılarak yapılan karışım tasarımları, geri dönüştürülmüş ürünlerin puzolan veya agrega olarak kullanımı, polimer takviyeli karışımlar, fiber lif takviyeleri gibi karışımlara eklenen malzemeler ile geçirimli betonun mekanik performansının artırılmasına yönelik çalışmalar yapılmıştır.

Agrega gradasyonunun geçirimli betonun mekanik ve fiziksel özelliklerinin araştırıldığı bir çalışmada 5 farklı agrega gradasyonu kullanılarak hazırlanan geçirimli beton numuneleri üzerinde yapılan fiziksel ve mekanik testler sonucunda agrega boyutu büyüdükçe gözenekliliğin arttığı ve mekanik özelliklerde düşüş gözlemlendiği bildirilmiştir. Aynı çalışmada tek dereceli agrega kullanılmasının geçirimlilik ve mekanik performans açısından önemine dikkat çekilmiştir [42]. Bir başka çalışmada ise geçirimli beton karışım tasarımında kullanılacak agrega boyutunun 7 mm'nin üzerine çıkarılması durumunda basınç dayanımına olumlu bir etki etmediği bildirilmiştir. Aynı zamanda agregayı çevreleyen çimento macun kalınlığının basınç dayanımına etkisinin araştırıldığı bu çalışmada 1,15 mm'ye kadar macun kalınlığının basınç dayanımına olumlu etki ettiğini, 1,15 mm'den sonra belirgin bir artış olmadığını bildirmişlerdir [20].

Geleneksel kireçtaşı agregası yerine %0, %25, %50, %100 oranlarında geri dönüştürülmüş agrega kullanılarak hazırlanan geçirimli betonların mekanik özelliklerinin araştırıldığı bir çalışmada, geri dönüşüm agrega ikame oranı arttıkça mekanik özelliklerin azaldığı bildirilmiştir. Geri dönüştürülmüş agregalar geçirimli betonda boşluk oranını arttırdığı, işlenebilirliği azalttığı ve bu durumun agregalar arası bağın zayıflamasına bağlı olduğu bildirilmiştir. Aynı çalışmada çimento yerine polimer ikamesi ile oluşturulan geçirimli beton numuneleri üzerinde yapılan deneyler neticesinde optimum polimer ikamesinin %10 olduğu sonucuna varılmıştır. %10 un üzerinde polimer ikamesinin mekanik özelliklerde olumsuz etki yarattığı bildirilmiştir [25].

Geçirimli betona polipropilen lif takviyesi yapılarak mekanik özelliklerinin araştırıldığı bir çalışmada, lif takviyesinin geçirimli betonun birim hacim ağırlık, basınç, çekme, aşınma dayanımı ve ultrases geçiş hızı değerlerinde artış meydana getirdiği ancak lif oranının artırılması ile mekanik özelliklerin iyileşmesinin her zaman doğrusal olmadığı bildirilmiştir. Aynı çalışmada lif takviyeli geçirimli betonların donma-çözünme direnci referans numunelere göre düşük çıktığı bildirilmiştir [43].

Uçucu kül ve metakaolin ilavesinin geçirimli betonların fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisinin araştırıldığı bir çalışmada hazırlanan numunelere yoğunluk, gözeneklilik, basınç dayanımı ve geçirimlilik deneyleri yapılmıştır. %2 metakaolin ilavesinin geçirimliliği %10 azaltırken, uçucu külün basınç dayanımını olumlu etki ettiği ancak ikame oranının optimum %5-15 arasında olması gerektiği bildirilmiştir [44].

Silis dumanının geçirimli betonda kullanımının araştırıldığı bir çalışmada, %5 silis

dumanı ikamesinin geçirimli betonda basınç ve geçirimlilik özelliklerinde optimum performansı sağladığı bildirilmiştir [45].

Ağır çelik sanayi atıklarından olan çelik cürufunun agrega olarak kullanıldığı bir çalışmada, farklı oranlarda bağlayıcı/agrega oranı ile hazırlanan karışımlardan elde edilen numuneler üzerinde yapılan deneyler sonucunda artan bağlayıcı/agrega oranının mekanik özellikleri iyileştirdiği ancak geçirimliliğin azaldığı bildirilmiştir. Aynı çalışmada Portland çimentosu yerine uçucu kül, silis dumanı ve yüksek fırın cürufu kullanılan numunelerin mekanik özelliklerinin azaldığı bildirilmiştir [46].

Çeşitli oranlarda (%0, %5 ve %8) stiren bütadien kauçuğu (sbr) ilavesi ile hazırlanan geçirimli betonların mekanik özelliklerindeki değişimin araştırıldığı çalışmada referans geçirimli betonlara göre sbr içeren geçirimli beton numunelerinin basınç dayanımı, yoğunluk, geçirimlilik özelliklerinde olumlu sonuçların alındığı bildirilmiştir [47].

Optimize edilmiş ultra yüksek performanslı çimento matrisi kullanılarak hazırlanan geçirimli beton karışımlarında doğru agrega/bağlayıcı oranı ile çalışıldığında geçirimlilik özelliğinden ödün vermeden yüksek performanslı geçirimli beton elde edildiği ve 50 MPa aşan basınç dayanımına sahip olduğu bildirilmiştir [48].

Polipropilen jeogrid takviyesi yapılarak geçirimli beton kiriş numuneleri üzerinde araştırma yapılan bir çalışmada, 40x40 mm göz açıklığında jeogrid takviyeli kiriş numunelerin referans numunelere göre basınç, çekme ve eğilme dayanımlarında artış sağladığı bildirilmiştir. Ayrıca jeogrid takviyeli numunelerin gözeneklilik artışlarından dolayı geçirimliliklerinin arttığı bildirilmiştir. Çalışma sonucunda jeogridlerin geçirimli betonun tokluğunda 10 kattan fazla değer elde edildiği, takviyelerin 1/3 ve 2/3 derinliğine gömülmesinin optimum performansı sağladığı bildirilmiştir [49].

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. MATERYAL

Agrega: Çalışmada, BELTAŞ A.Ş.'nin bazalt taş ocağı tesislerinden tedarik edilen 5-10 mm ve 10-15 mm bazalt agregası kullanılmıştır.

Çimento: Deneysel çalışmalarda ÇİMSA Süper Beyaz CEM I 52,5 R Beyaz Portland Çimentosu kullanılmıştır. Üretici firmadan tedarik edilen kimyasal ve mekanik özellikler Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Çalışmada kullanılan çimentonun kimyasal ve mekanik özellikleri.

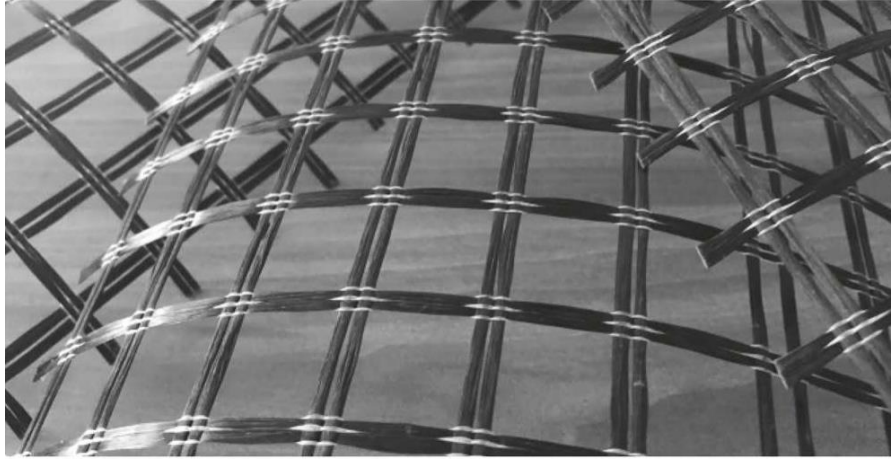
	Özellikler	CEM I 52,5 R Beyaz Portland Çimentosu
Kimyasal Özellikler (%)	SiO ₂	21,6
	Al ₂ O ₃	4,05
	Fe ₂ O ₃	0,26
	CaO	65,7
	MgO	1,30
	SO ₃	3,30
	Kızdırma Kaybı	3,20
	Na ₂ O	0,30
	K ₂ O	0,35
	Klorür	0,01
	Serbest CaO	1,60
Fiziksel Özellikler	Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	3,06
	Özgül Yüzey (cm ² /gr)	4600
	28 Günlük Basınç Dayanımı (MPa)	60

Kimyasal Katkı: Çalışma kapsamında hazırlanan karışımlarda çimento ağırlığının %1,3'ü kadar süperakışkanlaştırıcı katkı kullanılmıştır. Katkıya ait üretici tarafından sunulan teknik özellikler Çizelge 3.2'te verilmiştir.

Çizelge 3.2. Çalışmada kullanılan katkıının teknik özellikleri.

Teknik Özellikler	Süper Akışkanlaştırıcı
Kimyasal İçerik	Naftalin Sülfanat Esaslı
Görünüm	Kahverengi Sıvı
Yoğunluk	1,18 kg/l
Ph değeri	7,5
Klor İçeriği	< %0,1
Alkali İçeriği	< %6
Donma Noktası	- 6 *C

Bazalt Fiber Örgü: İkinci aşama çalışmaları kapsamında kullanılan bazalt fiber örgü Tekno Yapı Kimyasalları firmasından tedarik edilmiştir. Bazalt fiber örgüye ait üretici tarafından sunulan teknik özellikler Çizelge 3.3’de verilmiştir.



Şekil 3.1. Bazalt fiber örgü.

Çizelge 3.3. Bazalt fiber örgü teknik özellikleri.

Teknik Özellikler	
Mesh çekme dayanımı	108 kN/m
Kaplamalı ağırlık	350 g/m ²
Mesh aralığı	25x25 mm
Fiber Tipi	Bazalt fiber
Fiber elastisite modülü	85 GPa
Fiber Çekme Dayanımı	4000 MPa
Fiber özgül ağırlık	2,7 g/cm ³
Kaplama	Alkali dayanımlı polimer

3.2. YÖNTEM

Bu tez çalışmasına ait süreç şeması Şekil 3.2’de verilmiştir.

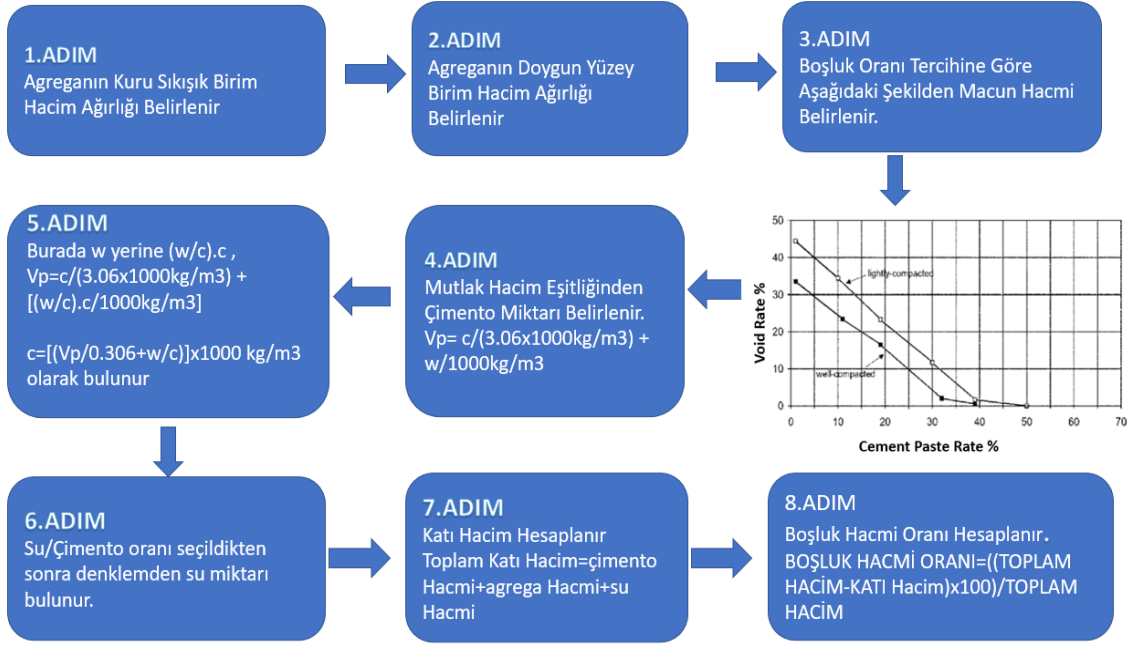


Şekil 3.2. Süreç şeması.

3.2.1. Geçirimli Beton Karışım Tasarım Yöntemi

1. Aşama

Literatür incelendiğinde geçirimli beton numune üretiminde yerel malzemeler ile deneme karışımları yapılarak karışım tasarımları hazırlanmaktadır. ACI Committie 522 çalışma grubu tarafından hazırlanan raporda [12] önerilen boşluk oranı-macun hacmi ilişkisi referans alınmak suretiyle Şekil 3.3’de verilen şemada yer alan adımlar kullanılarak geçirimli beton karışımları oluşturulmuştur.



Şekil 3.3. Karışım tasarım rehberi.

Burada;

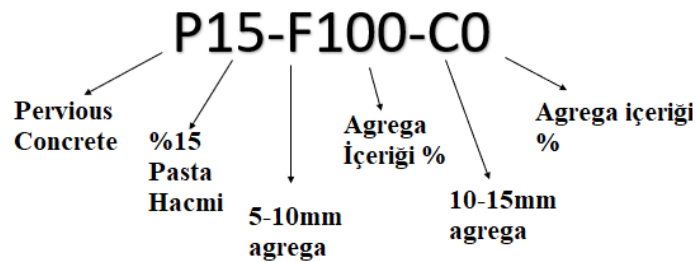
c = Çimento Miktarı

V_p = Macun Hacmi

w/c = su/çimento oranı

3,06 = Kullanılan çimentonun özgül ağırlığı

Birinci aşama çalışmalarda yukarıda verilen şema kullanılmak suretiyle s/ç oranı (0,3) sabit olmak üzere, 3 farklı macun hacmi (%15, %20, %25), 3 farklı agrega gradasyonu (%100 ince agrega, %50 ince agrega + %50 kalın agrega, %100 kalın agrega) kullanılarak toplam 9 farklı geçirimli beton karışımı hazırlanmıştır. Hazırlanan karışımlara ait değerler Çizelge 3.4'te verilmiştir.



Şekil 3.4. Karışım kodlarının açıklaması.

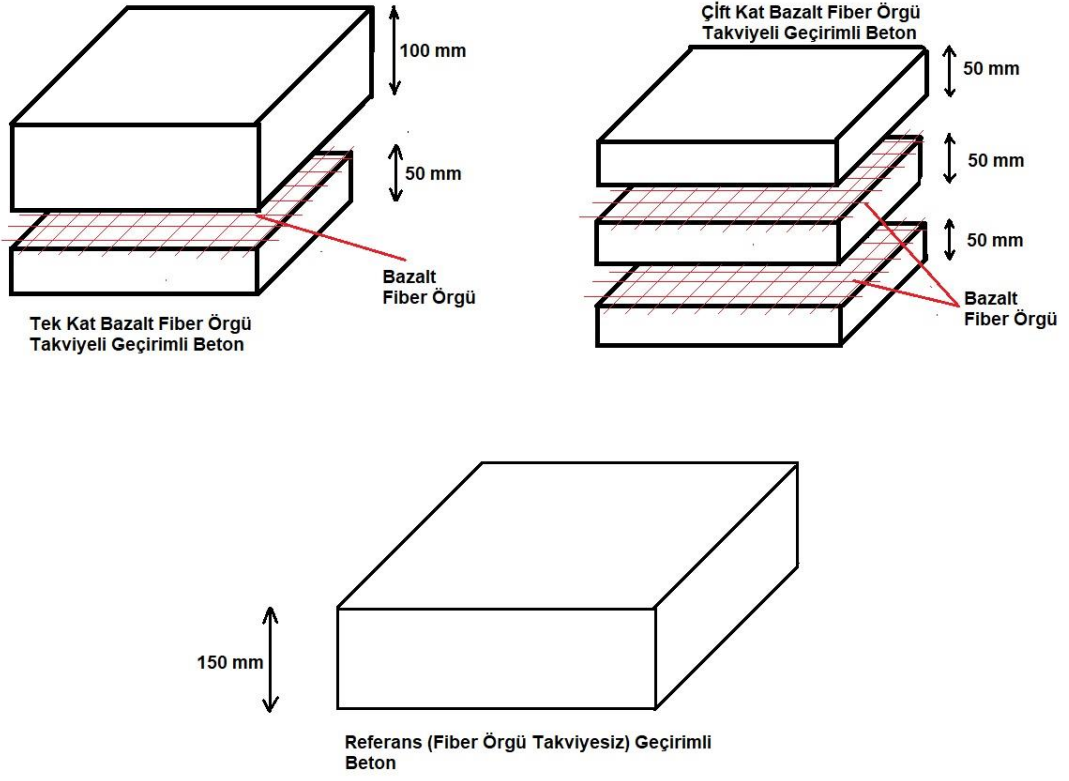
Geçirimli beton numunelerine verilen kodlamaların anlamları Şekil 3.4’te verildiği gibidir. P: Geçirimli betonu, F: ince agregayı, C: kaba agregayı temsil etmekle birlikte ince agregadan kasıt 5-10 mm bazalt agregasıdır.

Çizelge 3.4. Geçirimli beton karışım oranları (1m³ için).

Karışım No	Karışım Adı	Su/Çimento	Macun Hacmi (%)	Çimento (kg)	Su(kg)	Katkı (kg)	5-10mm Agregası (kg)	10-15mm Agregası (kg)
1	P15-F0-C100	0,3	15	243,90	73,17	3,17	0	1561
2	P15-F50-C50	0,3	15	243,90	73,17	3,17	788,50	788,50
3	P15-F100-C0	0,3	15	243,90	73,17	3,17	1525	0
4	P20-F0-C100	0,3	20	325,20	97,56	4,23	0	1561
5	P20-F50-C50	0,3	20	325,20	97,56	4,23	788,50	788,50
6	P20-F100-C0	0,3	20	325,20	97,56	4,23	1525	0
7	P25-F0-C100	0,3	25	406,50	121,95	5,28	0	1561
8	P25-F50-C50	0,3	25	406,50	121,95	5,28	788,50	788,50
9	P25-F100-C0	0,3	25	406,50	121,95	5,28	1525	0

2. Aşama

İkinci aşama kapsamında ise birinci aşama deney sonuçlarından alınan istatistikî verilerin analizinden yola çıkılarak 2 farklı macun hacmi (%20 ve %25) ve 5-10 mm bazalt agregadan oluşan karışımlar hazırlanmıştır. Bu karışım tasarımları ile referans, tek kat bazalt fiber örgü ve çift kat bazalt fiber örgü takviyeli olmak üzere toplam 6 çeşit geçirimli beton numuneleri üretilmiştir. Bazalt fiber örgünün betona yerleştirilmesi Şekil 3.5’te gösterildiği gibi tek kat kullanımda 3’te 1 derinliğe, çift kat takviyede 3’te 1 ve 3’te 2 derinliğe konumlandırılmıştır.



Şekil 3.5 Bazalt fiber örgü takviyeli geçirimli betonda fiber örgünün konumu.

Numune üretiminde kullanılan beton karışım oranları Çizelge 3.5'te verilmiştir.

Çizelge 3.5. 2. aşama geçirimli beton karışım oranları.

Karışım No	5-10mm Agrega (kg)	Macun Hacmi (%)	Çimento (kg)	Su(kg)	Su/Çimento	Katkı (kg)
PCF-20	1525	20	325,20	97,56	0,3	4,23
PCF-25	1525	25	406,50	121,95	0,3	5,28

PCF-20

%20 macun hacmine sahip fiber örgü takviyeli geçirimli beton karışım tasarımı

PCF-25

%25 macun hacmine sahip fiber örgü takviyeli geçirimli beton karışım tasarımı

Karışım tasarımlarına ilaveten geçirimli beton numuneleri üretilirken bazalt fiber örgü numuneye kaç kat olarak takviye yapılacağına göre sınıflandırılmıştır:

PCF-20-R

%20 macun hacmine sahip referans (fiber örgüsü takviyesiz) geçirimli beton

PCF-20-1

%20 macun hacmine sahip tek kat fiber örgü takviyeli geçirimli beton

PCF-20-2

%20 macun hacmine sahip çift kat fiber örgü takviyeli geçirimli beton

PCF-25-R

%25 macun hacmine sahip referans (fiber örgüsüz) geçirimli beton

PCF-25-1

%25 macun hacmine sahip tek kat fiber örgü takviyeli geçirimli beton

PCF-25-2

%25 macun hacmine sahip çift kat fiber örgü takviyeli geçirimli beton

3.2.2. Numune Hazırlama**Birinci Aşama Numune Hazırlama**

Karışımlar 20 ± 2 °C ortam sıcaklığı ve 60 ± 5 bağıl nemi bulunan laboratuvar ortamında hazırlanmıştır. Birinci aşama için hazırlanan karışımlar 100x100x100 mm boyutlarındaki küp numune kalıplarına dökülmüştür. Döküm işlemi 2 kademe halinde plastik tokmak ile sıkıştırılmak suretiyle yapılmıştır. Her karışım serisi için 10'ar adet olmak üzere toplam 90 adet küp numune dökülmüştür. Karışımlar 24 saat süre ile kalıp içerisinde bekletildikten sonra kalıptan çıkarılıp 28 gün su kürüne tabi tutulmuştur. Üretilen numunelere ait görseller Şekil 3.6'da görülmektedir.



Şekil 3.6. Geçirimli beton birinci aşama numune hazırlama.

2. Aşama Numune Hazırlama

Karışımlar 20 ± 2 °C ortam sıcaklığı ve $\%60 \pm 5$ bağıl nemi bulunan laboratuvar ortamında hazırlanmıştır. Hazırlanan karışımlar Şekil 3.7’de gösterildiği gibi 100x100 mm silindir ve 100x100x500 mm prizma kalıplara doldurulmuştur. İkinci aşama çalışmalarında birinci aşamadan farklı olarak bazalt fiber örgü takviyesi kullanıldığı için dökümler 3 kademe yapılmıştır. Geçirimli betonlarda silindir numuneler için yerleştirme ve sıkıştırma standardı bulunmadığından dolayı 90x90 mm ölçülerinde ve 4500 g ağırlığında içi dolu demir silindirin her katmandan sonra 100 mm yükseklikten 5’er defa serbest düşürülmesi suretiyle sıkıştırılması sağlanmıştır. Sıkıştırma işleminde kullanılan silindir demir profil Şekil 3.8’de görülmektedir. Aynı silindir demir profilin yatay olarak 100x100x500 mm prizma kalıpların her katmandan sonra 5 defa taze betonun üzerinde sabit hızda sürülmesi ile sıkıştırma ve yerleştirme işlemi yapılmıştır. Prizma numunelerde sıkıştırma işleminin silindir demir profil ile yapılmasındaki amaç saha modellemesine benzetmektir. ACI Committie 522 çalışma grubu açık alan saha dökümlerinde geçirimli beton için tesviye ve sıkıştırma işleminin 60 kg/m ağırlığa sahip silindir masterlar ile yapılmasını önermektedir. Hazırlanan karışımlar 24 saat süre ile kalıp içerisinde

bekletildikten sonra kalıptan çıkarılıp 28 gün su kürüne tabi tutulmuştur



(a)



(b)

Şekil 3.7. a) Silindir numuneler b) Prizma numuneler.



Şekil 3.8. Sıkıştırma ve masterlama işleminde kullanılan silindir demir profil.

3.2.3. Test Prosedürü

Birinci aşamada bazalt agregası ve üretilen geçirimli beton numuneleri üzerinde yapılan deneyler Çizelge 3.6'da verilmiştir.

Çizelge 3.6. Bazalt agregası ve geçirimli beton numuneleri üzerinde yapılan deneyler.

	Deney Açıklaması	Kullanılan Standart
Bazalt Agregası Deneyleri	Doygun Yüzey Tane Yoğunluğu	TS EN 1097-6
	Su Emme	TS 3526
	Gevşek ve Sıkışık Birim Hacim Ağırlık	TS 3529
	Parçalanma Direnci	Los Angeles Metodu, TS EN 1097-2
Taze Beton Deneyleri	Yoğunluk	TS EN 12350-6
	Kıvam	(Kartopu Metodu)
Sertleşmiş Beton Deneyleri	Yoğunluk/Boşluk Oranı	ASTM C1754/C1754M-12
	Su Emme	ASTM C 642
	Basınç Dayanımı	TS EN 12390-3
	Yarmada Çekme Dayanımı	TS EN 12390-6
	Geçirimsizlik	ASTM C1781/C1781M

İkinci aşamada üretilen geçirimli beton numuneleri üzerinde yapılan deneyler Çizelge 3.7’de verilmiştir.

Çizelge 3.7. İkinci aşama geçirimli beton numuneleri üzerinde yapılan deneyler.

	Deney Açıklaması	Kullanılan Standart
Sertleşmiş Beton Deneyleri	Basınç Dayanımı	TS EN 12390-3
	Yarmada Çekme Dayanımı	TS EN 12390-6
	Geçirimsizlik	ASTM C1781/C1781M
	Eğilme Dayanımı	TS EN 12390-5

3.2.3.1. Bazalt Agregası Deneyi

Çalışmada kullanılacak agregaların fiziksel özelliklerinin belirlenmesi için laboratuvar ortamında Doymuş Yüzey Tane Yoğunluğu, Su Emme, Gevşek ve Sıkışık Tane Yoğunluğu ve Parçalanma Direnci deneyleri yapılmıştır. Yapılan deneylere ait görseller

Şekil 3.9’de gösterilmiştir



Şekil 3.9. Bazalt agregası deney görselleri.

3.2.3.2. Beton Yoğunluk Deneyi

Hazırlanan taze beton numunelerinin TS EN 12350-6 standardına uygun olarak yoğunlukları ölçülmüştür.

3.2.3.3. Kıvam Deneyi

Geçirimli betonunun kıvamı geleneksel beton gibi ölçülemediği için Tennis ve ark. geçirimli betonun işlenebilirliği ve doğru su oranlaması için kartopu metodunu önermişlerdir [15]. Bu uygulamada avuç içeresine alınan taze betonun top haline getirildiğinde agregaların birbirine çimento hamuruyla yapışarak dağılmadığı durumda optimum kıvam olduğu kabul edilmektedir. Karışımlara yapılan kartopu metodu Şekil 3.10’da görülmektedir.



Şekil 3.10. Geçirimli betona kartopu deneyi yapılması.

3.2.3.4. Sertleşmiş Geçirimli Beton Yoğunluk, Boşluk İçeriği ve Su Emme Deneyi

Hazırlanan sertleşmiş beton numunelerine ASTM C1754/C1754M-12 standardına göre yoğunluk ve boşluk oranı (gözeneklilik) deneyleri, ASTM C642 standardına göre Su emme deneyleri yapılmıştır.

Boşluk oranı tayini için;

$$Boşluk Oranı = \left[1 - \left(\frac{A-B}{\rho_w \cdot D.L} \right) \right] \times 100 \quad (3.1)$$

denklemini kullanılmıştır. Burada;

- A : Numunenin etüv kuru kütlesi (kg)
- B : Numunenin su içerisindeki kütlesi (kg)
- ρ_w : Su yoğunluğu (kg/m^3)
- D : Numunenin genişliği (m)
- L : Numunenin yüksekliği (m)

3.2.3.5. Basınç Dayanımı Deneyi

Birinci aşamada üretilen 100x100x100 mm küp geçirimsiz beton numuneleri TS 12390-3 standardından faydalanılarak 3'er adedi 7 günlük ve 3'er adedi 28 günlük basınç dayanımı testine tabi tutulmuştur. Deneyler 2000 kN kapasiteli tek eksenli yükleme yapan basınç test cihazı ile yapılmıştır.



Şekil 3.11. Basınç test cihazı ve geçirimli beton numunesi.

İkinci aşamada üretilen 100x100 mm silindir numunelere Şekil 3.12’de gösterildiği gibi her iki yüzeyine kükürt başlık yapılmıştır. Numuneler TS EN 12390-3 standardından faydalanılarak 2000 kN’luk basınç test cihazında deneye tabi tutulmuştur.



Şekil 3.12. Silindir geçirimli beton numunelerinin basınç deneyi.

3.2.3.6. Yarmada Çekme Deneyi

Birinci ve ikinci aşama için küp geçirimli beton numunelerine TS EN 12390-6 standardına göre yarmada çekme deneyi yapılmıştır. Deneye ait görsel Şekil 3.13’de gösterilmiştir.



Şekil 3.13. Küp numunelerin yarmada çekme dayanım testi.

TS EN 12390-6 ya göre yarmada çekme dayanımı aşağıda yer alan denklem ile hesaplanır.

$$f_{ct} = \frac{2xF}{\pi xLxd} \quad (3.2)$$

Burada;

f_{ct} : Yarmada çekme dayanımı, MPa (N/mm²)

F : En büyük yük, N

L : Numunenin yükleme parçasına temas çizgisi uzunluğu, mm

d : Numunenin seçilen en kesit boyutu, mm

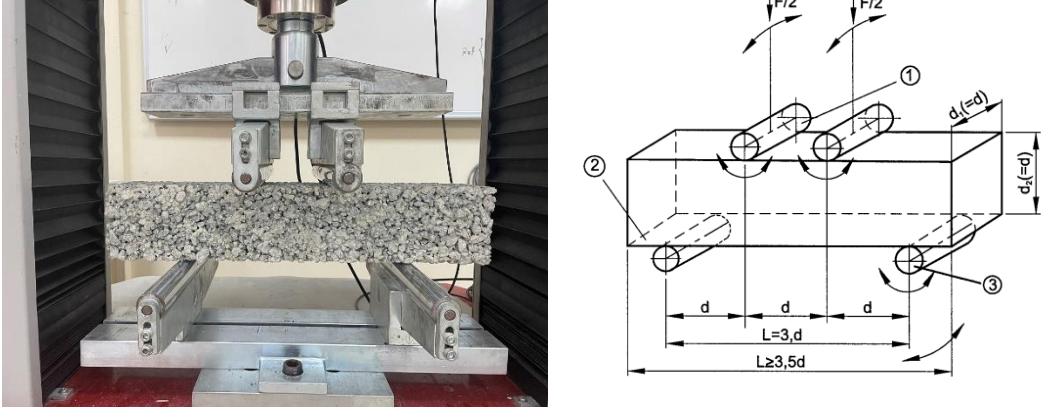
3.2.3.7. Eğilme Dayanımı Deneyi

2. aşamada hazırlanan 100x100x500 mm ebatlarındaki eğilme kirişlerine TS EN 12390-5 standardına uygun olarak eğilme dayanımı tayini yapılmıştır. Deney düzeneğine ait görsel Şekil 3.14'de gösterilmektedir. Eğilme dayanımı aşağıda verilen denklem ile hesaplanır.

$$f_{cf} = \frac{FL}{d_1 d_2^2} \quad (3.3)$$

Burada;

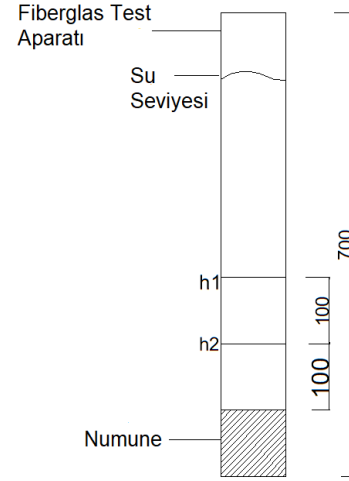
- f_{cf} : Eğilme dayanımı (MPa)
 F : En büyük yük, N
 L : Mesnet silindirleri arasındaki açıklık, mm
 $d_1 d_2$: Numunenin en kesit boyutları



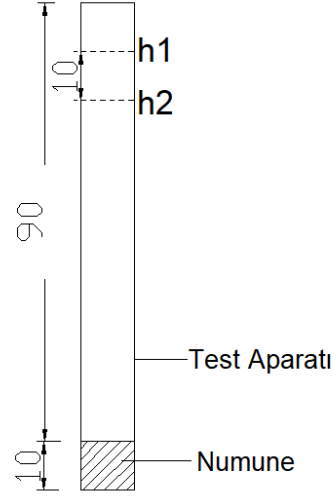
Şekil 3.14. Eğilme dayanımı tayini deney düzeneği.

3.2.3.8. Geçirimsizlik Deneyi

Hazırlanan küp numuneler üzerinde ASTM C1781/C1781M standardında belirtilen esaslara uygun olacak şekilde modifiye edilmiş bir düzenek ile geçirimsizlik katsayıları hesaplanmıştır. 1. aşamada 100x100x100 mm ölçülerinde bulunan küp numunelerin etrafından su sızmasını engellemek için polietilen (PE) esaslı naylon örtü ile sarılmıştır. Sistem numuneyi içerisine tam alacak şekilde 102x102 mm kesit ölçülerinde ve 700 mm yüksekliğinde şeffaf pleksiglass malzemeden imal edilmiştir. Şekil 3.15'den görüleceği gibi kare prizma formunda bulunan numune aparatının alt bölümüne beton numunesi yerleştirilmiş, numuneden 10 cm yukarıda h2 seviyesi, 20 cm yukarıda h1 seviyesi işaretlenmiştir. Sistem 4,0 lt su ile doldurduktan sonra su seviyesinin h1 den h2 ye inmesi için geçen süre (t) kronometre ile ölçülmüş ve kaydedilmiştir. Her numune için bu prosedür 3'er defa tekrarlanmış ve çıkan sonuçların aritmetik ortalaması alınarak geçirimsizlik katsayısı hesaplanmıştır. Aynı işlemler 2. aşamada silindir 100x100 mm numuneler üzerinde yapılmıştır. Deneyde 102 mm iç çapına sahip PVC boru kullanılmıştır. Silindir numuneler PE folyo ile sarılarak hem numunenin yan yüzeylerinden su geçişi engellenmiş hem de PVC boru ile numune arasında sızdırmazlık sağlanmıştır. Deneye ait görsel ve şematik çizim Şekil 3.16'da verilmiştir.



Şekil 3.15. Küp numunelerde geçirimlilik deney düzeneği.



Şekil 3.16. Silindir numunelerde geçirimlilik deney düzeneği.

Deneylerden elde edilen veriler ile Darcy yasasından faydalanılarak geçirimlilik katsayısı denklem 3.4 ile hesaplanmıştır;

$$k = \frac{a.L}{A.t} \cdot \log\left(\frac{h_1}{h_2}\right) \quad (3.4)$$

Burada;

K : geirirnililik katsayısı (cm/sn)

a : su haznesinin alanı (cm²)

L : numunenin yüksekliği (cm)

A : suyun numuneden aktığı kesit alanı (cm²)

t : belirlenen hacimdeki suyun akması için gereken süre (sn)

h1 : Suyun haznedeki ilk derinliđi (cm)

h2 : Suyun haznedeki son derinliđi (cm)



4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. BULGULAR

4.1.1. 1. AŞAMA

4.1.1.1. Bazalt Agregası Deney Sonuçları

Bazalt Agregası üzerinde yapılan deneylere ait sonuçlar Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Bazalt agregalarının fiziksel özellikleri.

Deneyleer	5-10 mm Bazalt Agregası	10-15 mm Bazalt Agregası	5-10 (%50) ve 10-15mm (%50) Karışık Bazalt agregası
Doygun Yüzey Tane Yoğunluğu (TS EN 1097-6 Ek-B)	2,63	2,62	-
Su Emme (%)	0,823	0,98	
Gevşek Birim Hacim Ağırlık (TS 3529) g/dm ³	1364,65	1380,30	1414,99
Sıkışık Birim Hacim Ağırlık (TS 3529) g/dm ³	1525,44	1561,04	1576,99
Parçalanma Direnci (Los Angeles Metodu, TS EN 1097-2)	20,06	18,16	-

Çalışma kapsamında kullanılan bazalt agregaların TS 706 EN 12620 standardına göre yoğunlukları normal agregası olarak değerlendirilmektedir. Parçalanma direnci deney sonuçları incelendiğinde, agregaların aşınma direnci bakımından LA20 kategorisinde yer aldığı tespit edilmiştir.

4.1.1.2. Geçirimli Beton Karışımlarının Kıvam Deney Sonuçları

Bazalt agregası ile üç farklı agregası gradasyonu ve 3 farklı macun hacmi kullanılarak üretilen geçirimsiz betonlar numunelerine ait kıvam deney sonuçları Çizelge 4.2’de verilmiştir.

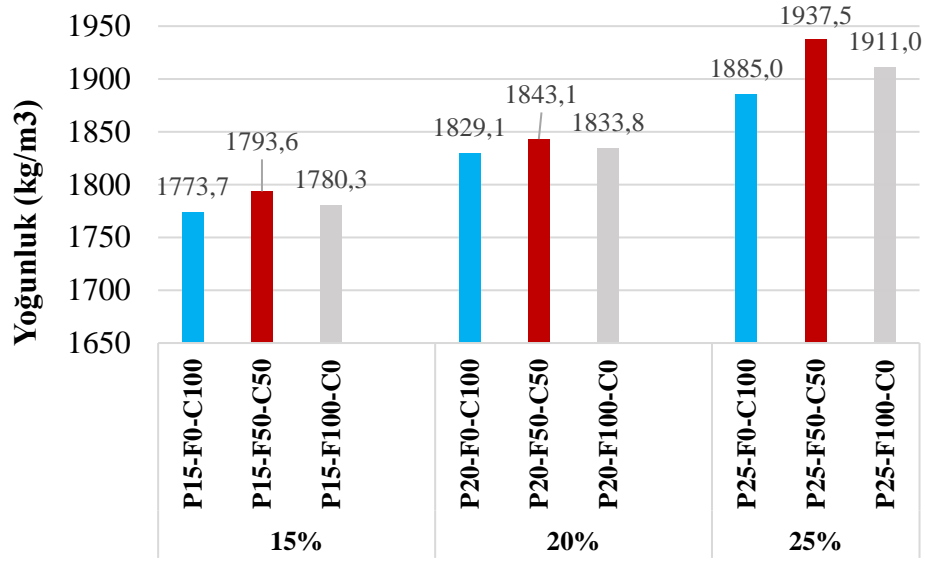
Çizelge 4.2. Kıvam deney sonuçları.

Çimento Macun Hacmi	Agrega Gradasyonu	Karışım Numarası	Kartopu Metodu Sonucu
15%	10-15mm	P15-F0-C100	-
	5-10mm (%50) +10-15mm(%50)	P15-F50-C50	-
	5-10mm	P15-F100-C0	-
%20	10-15mm	P20-F0-C100	Olumlu
	5-10mm (%50) +10-15mm(%50)	P20-F50-C50	Olumlu
	5-10mm	P20-F100-C0	Olumlu
%25	10-15mm	P25-F0-C100	Olumlu
	5-10mm (%50) +10-15mm(%50)	P25-F50-C50	Olumlu
	5-10mm	P25-F100-C0	Olumlu

Çizelge 4.2 incelendiğinde %15 çimento hacmine sahip serilerde ve %20 çimento hacmine sahip P20-F0-C100 serisinde kartopu deneyi sonucunda agregaların çimento macunu ile birbirine yapışmadığı görülmüştür. Diğer serilerde ise beton karışımının elle kartopu formuna getirildikten sonra şeklinin bozulmadığı ve agregaların birbirinden ayrılmadığı görülmüştür. Tennis ve ark. yaptıkları çalışmada, kartopu metodunun doğru su/çimento oranının belirlenmesi ile uygulanabileceğini bildirmişlerdir[15]. Ancak çalışma kapsamında su/çimento oranı sabit olan tüm karışımlardan bazılarının top formunda kalmaması, agregaları çevreleyen çimento macunun yetersiz kalması ile açıklanabilir. Yeterli miktarda çimento macunu içermeyen geçirimli beton karışımlarında agregalar arası bağın zayıf olacağı, bu durumun da geçirimli betonun fiziksel özelliklerinde kayıplara yol açacağı düşünülmektedir.

4.1.1.3. Taze Beton Yoğunluk Deney Sonuçları

Numuneler üzerinde yapılan taze beton yoğunluk deney sonuçları Şekil 4.1’de verilmiştir.

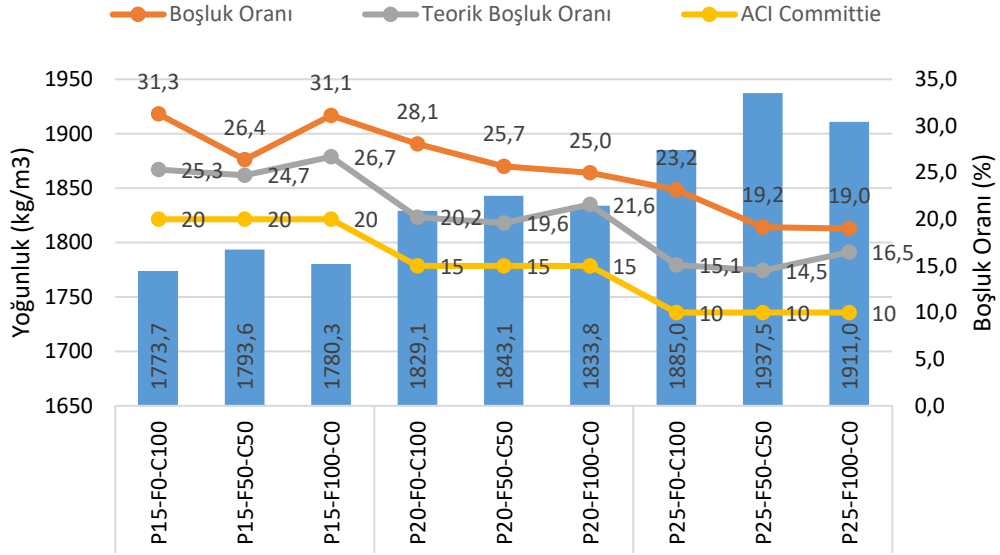


Şekil 4.1. Taze beton yoğunluk deney sonuçları.

Şekil 4.1 incelendiğinde, çimento macun hacmi arttıkça geçirimli beton numunelerinin yoğunluklarının arttığı görülmektedir. İri agregalarla (10-15 mm) hazırlanan geçirimli beton numuneleri incelendiğinde, %25 macun hacmine sahip geçirimli beton numunesinin yoğunluğu %20 macun hacmine sahip geçirimli beton numunesine göre %3,05, %15 macun hacmine sahip geçirimli beton numunesine göre %6,27 daha fazla olduğu, iri ve ince agregalardan (10-15 mm + 5-10 mm) oluşan karışımlara ait numuneler incelendiğinde, %25 macun hacmine sahip geçirimli beton numunesinin yoğunluğunun %20 macun hacmine sahip geçirimli beton numunesine göre %5,12, %15 macun hacmine sahip geçirimli beton numunesine göre %8,02 daha fazla olduğu görülmüştür. İnce agregalarla (5-10mm) hazırlanan geçirimli beton numuneleri incelendiğinde, %25 macun hacmine sahip geçirimli beton numunesinin yoğunluğunun %20 macun hacmine sahip geçirimli beton numunesine göre %4,2, %15 macun hacmine sahip geçirimli beton numunesine göre %7,34 daha fazla olduğu görülmüştür.

4.1.1.4. Boşluk Oranı ve Yoğunluk Deney Sonuçları

Sertleşmiş geçirimli beton numuneleri üzerinde yapılan yoğunluk ve boşluk oranı deney sonuçları ile teorik olarak hesaplanan boşluk oranları ve ACI Committie 522'nin önerdiği rehber göre verilen boşluk oranları Şekil 4.2'de karşılaştırmalı olarak sunulmaktadır.



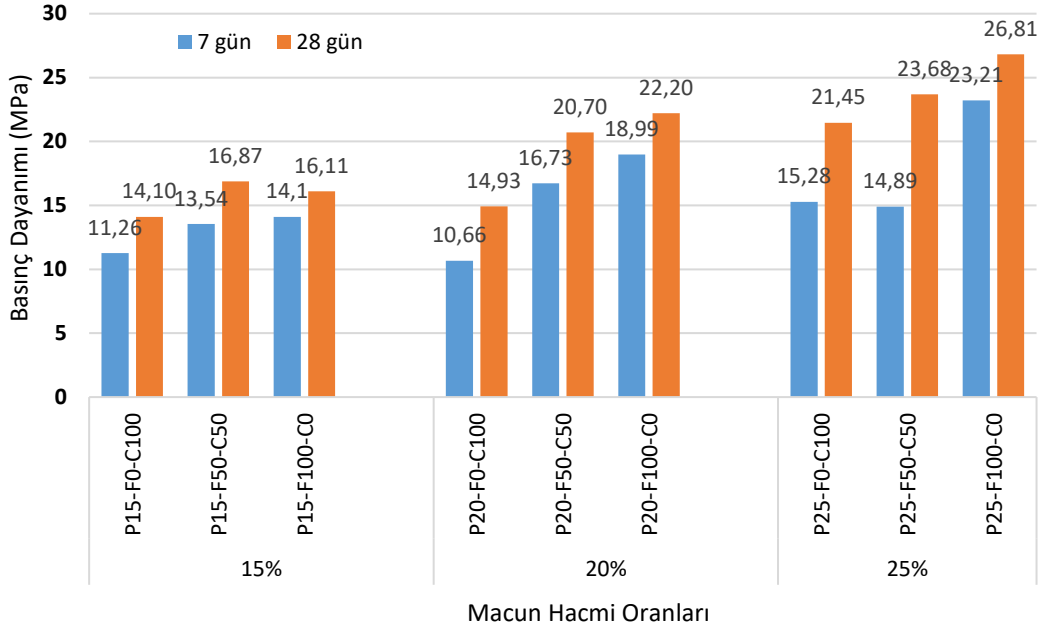
Şekil 4.2. Geçirimli beton numunelerinin yoğunluk ve boşluk oranı değerleri.

Şekil 4.2 incelendiğinde çimento macun hacmi arttıkça beklendiği üzere yoğunluk artmış ve boşluk oranları azalmıştır. İri (10-15 mm) ve ince (5-10 mm) agregalardan hazırlanan geçirimli beton numunelerinde küçük tanelerin iri taneler arasına girerek boşluk miktarlarını azalttığı görülmektedir. Agregatane boyutu büyüdükçe geçirimli beton karışımında boşluk oranı artmaktadır. Teorik olarak hesaplanan boşluk oranları ile deneysel olarak elde edilen boşluk oranları benzer özellik göstermiş ancak deneysel olarak elde edilen boşluk oranları sıkıştırma ve yerleştirme parametrelerinin etkisiyle daha yüksek çıkmıştır. Deney sonuçlarına göre, geçirimli beton numunelerinin boşluk oranları, teorik olarak hesaplanan boşluk oranı değerlerinden sırasıyla %23,6, %6,7, %16,7, %38,9, %31,0, %15,7, %53,3, %32,1, %15,3 daha fazladır. Yaptığımız karışım tasarımında elde edilen boşluk oranları, ACI Committie 522'nin macun hacmi-boşluk oranı kabulünde belirtilen boşluk oranlarına göre daha yüksek değerler elde edilmiştir. ACI Committie 522 çalışma grubunun boşluk oranı-macun hacmi önerisinde agregatane boyutu ile ilgili bir parametre bulunmamaktadır. Ancak deney sonuçlarına göre aynı çimento hacminde, tane boyutları farklılıklarından dolayı farklı boşluk oranı değerleri elde edilmiştir. Yoğunluk değerleri incelendiğinde en düşük değeri ($1761,0 \text{ kg/m}^3$) P15-F100-C0 karışımında, en yüksek değeri ($1980,0 \text{ kg/m}^3$) ise P25-F50-C50 karışımından elde edilmiştir.

4.1.1.5. Basınç Dayanımı Deney Sonuçları

Geçirimli beton numuneleri üzerinde yapılan 7 günlük ve 28 günlük basınç dayanımı

deney sonuçları Şekil 4.3'te yer almaktadır.

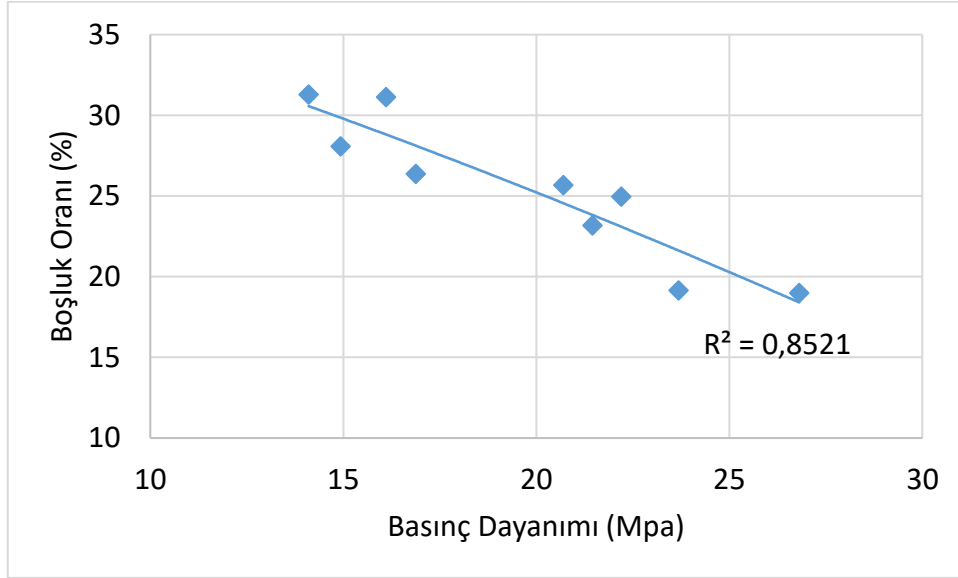


Şekil 4.3. Basınç dayanımı sonuçları.

Çalışma kapsamında hazırlanan 9 farklı tasarım karışımına sahip olan geçirimli beton numunelerinden Şekil 4.3'te gösterildiği gibi, en yüksek basınç dayanımına (28. Gün: 26,81 MPa) P25-F100-C0 kod numaralı geçirimli beton numunesi sahiptir. En düşük basınç dayanımına (28. Gün: 14,10 MPa) sahip numune ise P15-F0-C100 kod numaralı geçirimli beton numunesidir. Çimento macunu arttıkça basınç dayanım değerleri artmaktadır. Agrega derecesine göre sonuçlar incelendiğinde, %15 macun hacimli karışımlardan P15-F50-C50 kodlu karışım 28 günlük basınç dayanımını en yüksek olan karışımdır (16,87 MPa). %20 macun hacmine sahip karışımlardan 28 günlük basınç dayanımı en yüksek olan karışım P20-F100-C0 kodlu karışımdır (22,20 MPa). %25 macun hacmine sahip karışımlardan 28 günlük basınç dayanımı en yüksek olan karışım P25-F100-C0 kodlu karışımdır (26,81). Yu ve ark. geçirimli betonda kullanılan agrega boyutunun 7mm 'nin üzerinde basınç mukavemetine olumlu bir etkisinin olmadığını bildirmişlerdir [20]. Deney sonuçlarından da anlaşılacağı gibi agrega boyutu arttıkça basınç dayanımının azaldığı görülmüştür. Buna bağlı olarak çimento macun hacmi arttıkça basınç dayanımını artmaktadır. Bu durum ise geçirimli betonun boşluklarını küçülterek geçirimliliğini azaltacaktır.

4.1.1.6. Boşluk Oranı-Basınç Dayanımı İlişkisi

Geçirimli beton numunelerinin boşluk oranının basınç dayanımına etkisi Şekil 4.4'te yer almaktadır.

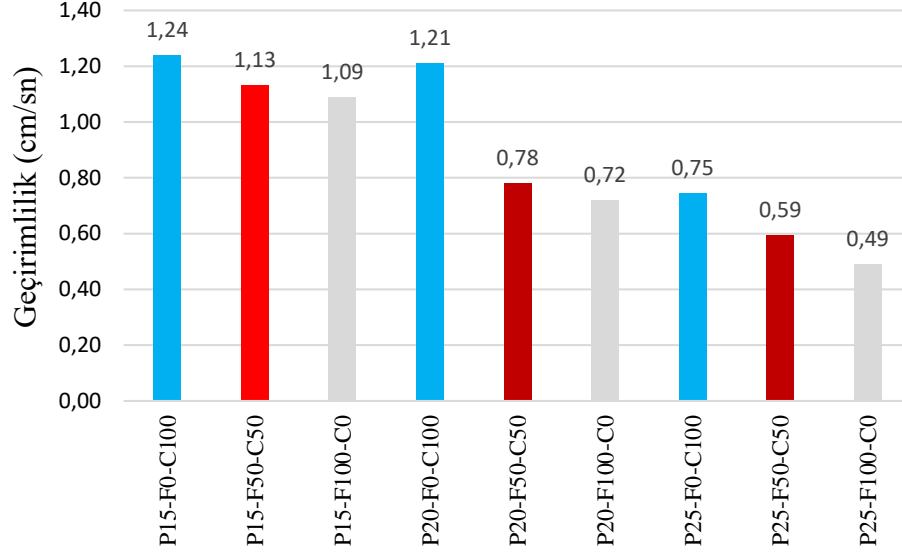


Şekil 4.4. Boşluk oranı-basınç dayanımı ilişkisi.

Geçirimli betonda yer alan boşluklar betonun karakteristik yapısını oluşturmakla birlikte boşluk miktarı arttıkça basınç dayanımı azalmaktadır. Karışımlarda ince malzeme kullanılmamış olmasına rağmen çimento hamuru artırılması ile birlikte boşluk oranının hızlıca düştüğü, basınç dayanımının da arttığı gözlenmektedir.

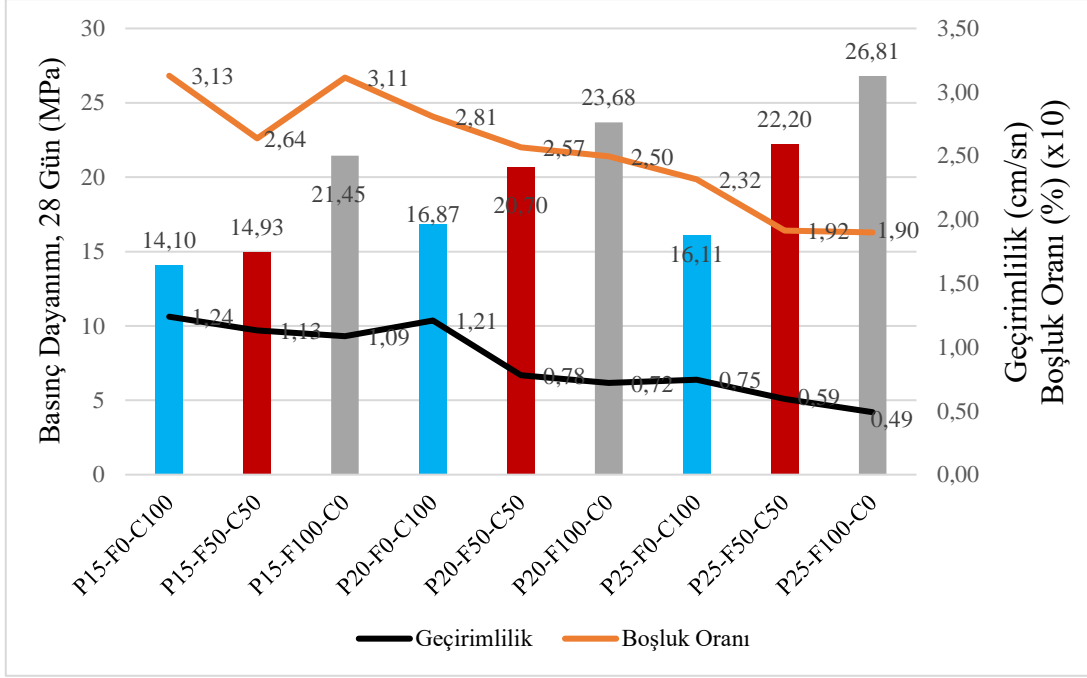
4.1.1.7. Geçirimsizlik

Şekil 4.5'da bu çalışmanın 1. aşaması kapsamında hazırlanmış olan küp formundaki geçirimli beton numunelerinin geçirimsizlik değerleri yer almaktadır.



Şekil 4.5. Geçirimsizlik sonuçları.

Şekil 4.5 incelendiğinde macun hacmi ve agrega gradasyonunun geçirimsiz betonun su tahliye miktarlarını etkilediği görülmektedir. İri agregalardan oluşan karışımlar daha büyük boşluklar meydana getireceğinden daha fazla geçirimsizliğe sahip olacaktır. Ayrıca çimento macunu miktarı arttıkça boşluk oranı azalacak ve geçirimsizlik de azalacaktır. P15-F0-C100 kodlu karışım en yüksek geçirimsizlik katsayısına sahipken, P25-F100-C0 kodlu karışım en düşük geçirimsizlik katsayısını sahiptir. Geçirimsizlik değeri; gözenekliliğe, gözenek boyutu dağılımına, gözenek pürüzlülüğüne, gözenek boşluğunun daralmasına, iç gözenek kanallarının bağlanabilirliği gibi bir dizi faktöre bağlıdır [1]. Geçirimsizlik deney sonuçları literatür ve ACI Committie 522'nin direktifleri ile uyumludur.

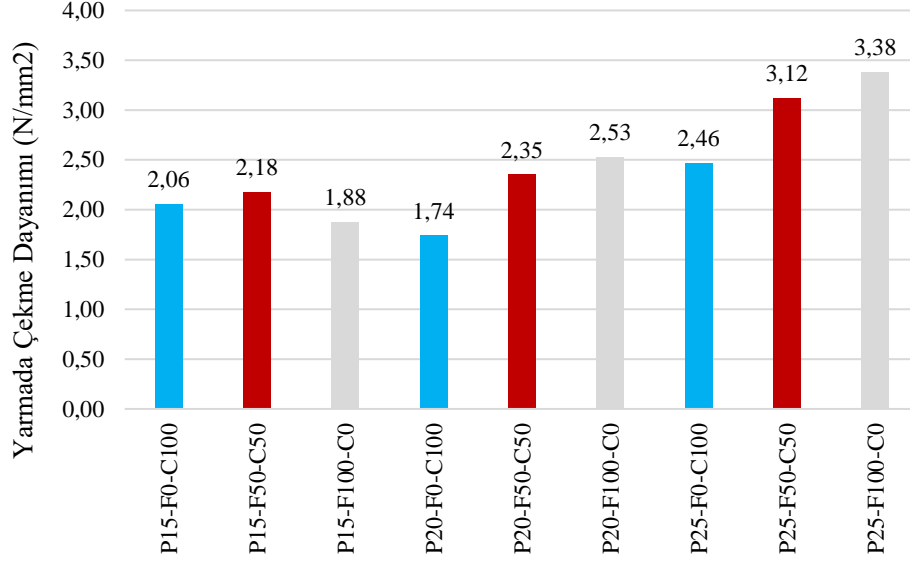


Şekil 4.6. Basınç dayanımı-geçirimlilik-boşluk oranı ilişkisi

Şekil 4.6 incelendiğinde tüm karışımlarda boşluk oranı arttıkça geçirimsizlik artarken basınç dayanımının azaldığı görülmektedir. Üretilen beton numunelerinin basınç dayanımları 14,10 MPa- 26,81 MPa arasında, geçirimsizlik değerleri 0,49 cm/sn–1,24 cm/sn arasında ve boşluk oranları %19-31,3 arasında değiştiği görülmektedir. Literatürden elde edilen bilgiler bu parametreler arasındaki ilişkiyi doğrulamaktadır. Tüm sonuçlar ACI Committie 522'nin vermiş olduğu referans değerler (basınç dayanımı 2,8-28 MPa, Permeabilite 0.14-1.22 cm/sn, boşluk oranı %15-35) ile birlikte incelendiğinde hazırlanan karışımların literatür ile uyumlu olduğu sonucuna varılmaktadır.

4.1.1.8. Yarmada Çekme Dayanımı

1. aşama kapsamında hazırlanan numuneler üzerinde yapılan yarmada çekme dayanımı deney sonuçları Şekil 4.7'de verilmektedir.



Şekil 4.7. Yarmada çekme dayanımı sonuçları.

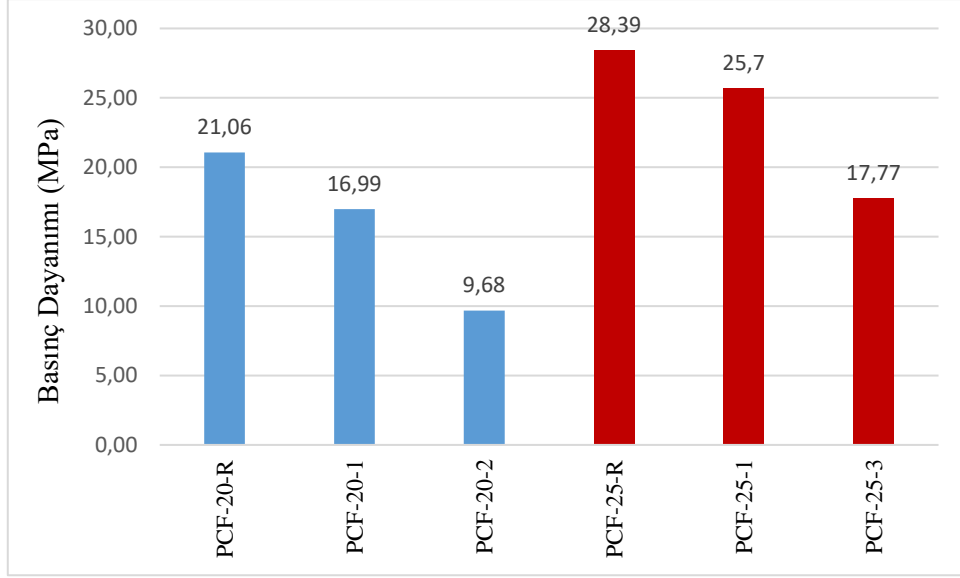
Şekil 4.7 incelendiğinde çimento macun hacmindeki artışa göre dayanım değerlerinin arttığı gözlenmektedir. P25-F100-C0 kodlu karışım en yüksek çekme dayanımına (3,38 MPa), P15-F0-C100 kodlu karışım ise en düşük çekme dayanımına (1,74 MPa) sahiptir. Agrega derecelendirmesine göre incelendiğinde macun hacmi aynı olan karışımlardan 10-15 mm agregaya ile hazırlanan karışımların daha düşük dayanıma sahip olduğu görülmektedir. Bu durum basınç dayanım değerlerinde olduğu gibi agregaya boyutu ile gözenekliliğin artması ve dayanım değerlerinin düşmesine sebep olmaktadır.

1. Aşama kapsamında yapılan deneysel çalışmalar neticesinde; geçirimli betonun macun hacmi ve agregaya gradasyonu seçimi, geçirimli betonun geçirimlilik ve basınç dayanımı gibi mekanik özelliklerini doğrudan etkilediği görülmüştür. Yukarıda açıklanan deneylerden elde edilen veriler incelendiğinde 2. Aşama çalışmalar için %20 ve %25 macun hacmi ve 5-10 mm agregaya gradasyonu tercih edilmesi uygun görülmüştür.

4.1.2. 2. AŞAMA

4.1.2.1. Basınç Dayanımı

2. aşama kapsamında hazırlanan bazalt fiber örgü takviyeli silindir numuneler üzerinde yapılan basınç dayanımı deney sonuçları Şekil 4.8'te verilmiştir.

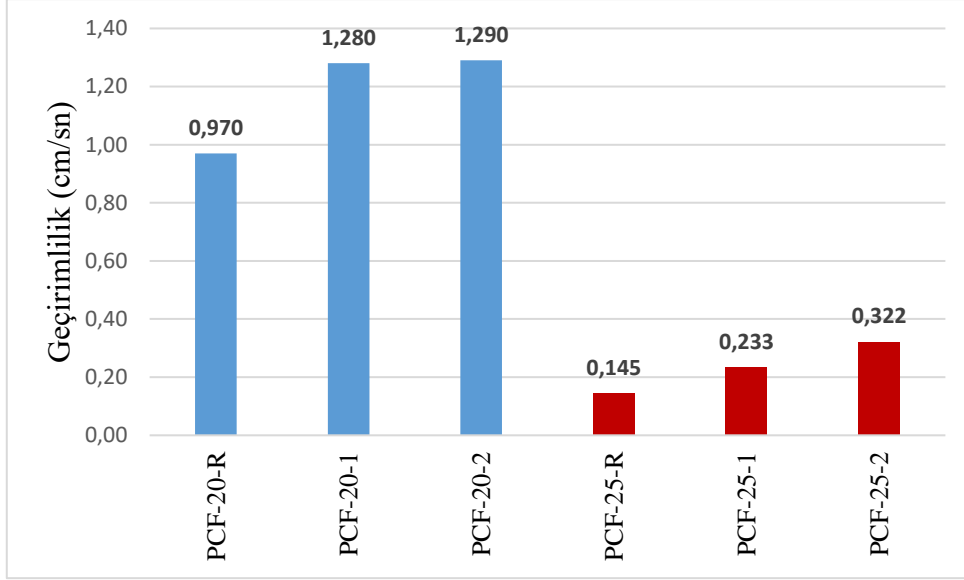


Şekil 4.8. 2. aşama silindir numune basınç dayanım sonuçları.

Şekil 4.8 incelendiğinde %25 macun hacmine sahip PCF-25-R, PCF-25-1 ve PCF-25-2 kodlu karışımlar %20 macun hacmine sahip PCF-20-R, PCF-20-1 ve PCF-20-2 kodlu karışımlara göre sırasıyla %35, %51 ve %83 daha fazla basınç dayanımı değerine sahiptir. 1. aşama çalışmalarının sonuçları ile de tutarlı olan macun hacmi-basınç dayanım ilişkisi 2. aşama silindir geçirimli beton numunelerinde de görülmektedir. Silindir şekilli geçirimli beton numunelerinden en yüksek dayanıma PCF-25-R kodlu bazalt fiber örgü takviyesi içermeyen referans numune, en düşük dayanıma ise PCF-20-2 kodlu 2 kat bazalt fiber örgü takviyesi içeren %20 macun hacimli numune sahiptir. Aynı macun hacminde bulunan numunelerin bazalt fiber örgü takviyesi arttıkça basınç değerlerinin azaldığı görülmektedir. 25x25 mm mesh aralığına sahip bazalt fiber örgü takviyesinin geçirimli betonda bulunduğu katmanda agregalar arası bağı zayıflatarak ve ilave gözeneklilik oluşturarak basınç dayanımını azaltmaktadır. Çalışma kapsamında kullanılan agregalar dar granülometriye sahip olduğundan daha farklı agrega gradasyonları kullanılarak bu çimento matris kaybının önüne geçilebileceği ön görülmektedir.

4.1.2.2. Geçirimsizlik

Bu çalışmanın 2. aşaması kapsamında hazırlanan silindir geçirimli beton numuneleri üzerinde yapılan geçirimsizlik deney sonuçları Şekil 4.9'de verilmiştir.

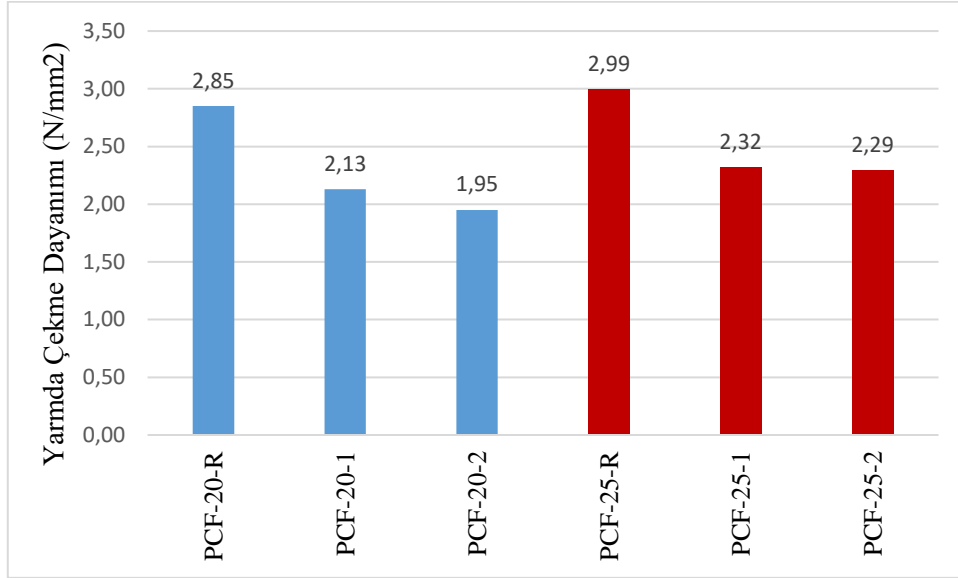


Şekil 4.9. 2. aşama geçirimsizlik deney sonuçları.

Şekil 4.9 incelendiğinde bazalt fiber örgü takviyesi yapılmayan numunelerin fiber örgü takviyesi yapılan numunelere göre daha az geçirimsizlik değerlerine sahip olduğu görülmektedir. %20 macun hacmine sahip 2 kat fiber örgü takviyesi içeren PCF-20-2 kodlu numune en yüksek geçirimsizlik değerine sahiptir. %25 macun hacmine sahip fiber örgü takviyesi içermeyen PCF-25-R kodlu numune en az geçirimsizlik değerine sahiptir. Bu aşamada geçirimsizliği etkileyen 2 faktör bulunmaktadır. 1. aşama kapsamında yapılan geçirimsizlik deney sonuçlarından görüleceği gibi karışımları oluşturan macun hacmi arttıkça geçirimsiz betonun gözenekleri azalacağından geçirimsizlik değerleri düşmektedir. Şekil 4.9 incelendiğinde macun hacmi-geçirimsizlik ilişkisi 1. aşama ile tutarlı görülmektedir. Geçirimsizliği etkileyen diğer bir faktör ise fiber örgü takviyesinin geçirimsizliği arttırdığı durumudur. %20 macun hacmine sahip numuneler ile %25 macun hacmine sahip numuneler kendi arasında değerlendirildiğinde fiber örgü takviyesi arttıkça gözeneklilik arttığı için geçirimsizlik değeri de artmaktadır. Geçirimsizlik değerini etkileyen 2 faktör birlikte değerlendirildiğinde fiber örgü takviyesinin meydana getirdiği geçirimsizlik farkı, macun hacminin meydana getirdiği farka göre oransal olarak daha düşük gözükmektedir. 2. Aşama kapsamında hazırlanan silindir numunelerin geçirimsizlik değerleri 0,145 ila 1,29 cm/sn geçirimsizlik katsayısı değerleri ile ACI Committie 522 ve literatür değerleri tutarlı gözükmektedir. Farklı katmanlarda jeogridler ile güçlendirme yapılan bir çalışmada katman sayısına bağlı olarak geçirimsizlik değerlerinin arttığı bildirilmiş olup sonuçlar literatür ile tutarlıdır [49].

4.1.2.3. Yarmada Çekme Dayanımı

Bu çalışmanın 2. aşaması kapsamında hazırlanan geçirimli beton numuneleri üzerinde yapılan yarmada çekme dayanım sonuçları Şekil 4.10'da verilmiştir.

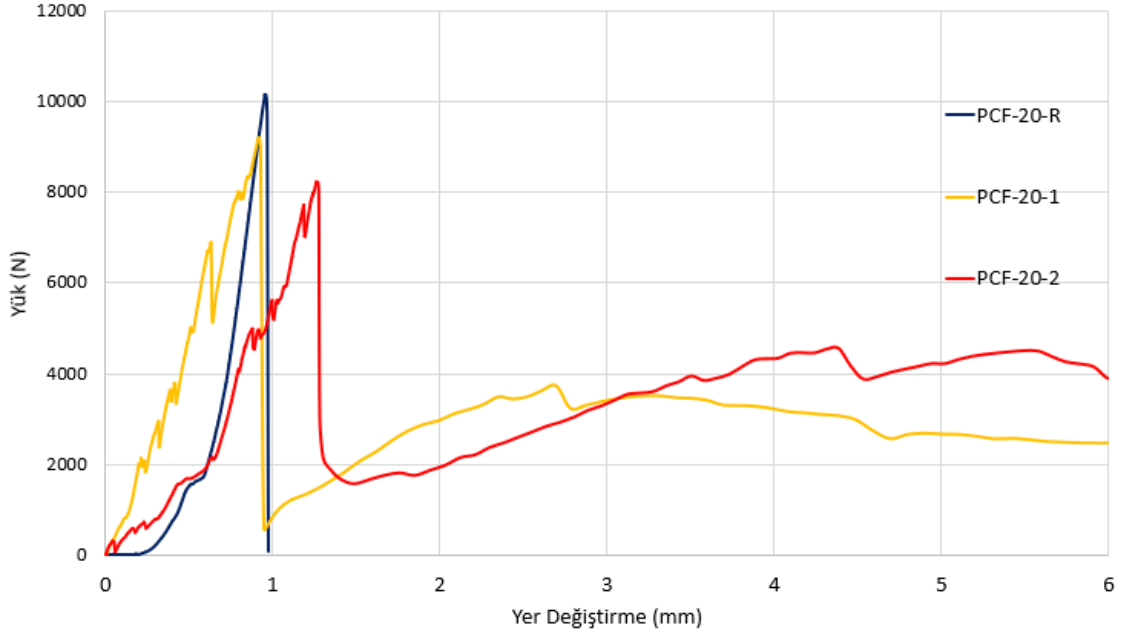


Şekil 4.10. 2. aşama yarmada çekme deney sonuçları.

Şekil 4.10 incelendiğinde bazalt fiber örgü takviyesi arttıkça yarmada çekme dayanımının azaldığı, macun hacmi arttıkça yarmada çekme dayanımının arttığı görülmektedir. En yüksek dayanıma sahip numune %25 macun hacimli ve bazalt fiber takviyesi bulunmayan PCF-25-R kodlu referans numunedir. En düşük dayanıma sahip olan numune ise %20 macun hacimli 2 kat bazalt fiber takviyesine sahip olan PCF-20-2 kodlu numunedir. Bu çalışmada yarmada çekme dayanımına etkileyen faktörler basınç dayanımında olduğu gibi 2 çeşittir. Macun hacmi dayanım değerini arttırmaktadır. Ancak fiber örgü ile takviye yapılması gözenekliliği arttırdığından numunelerin en yüksek dayanım değerlerini düşürmektedir. Çalışma kapsamında üretilen geçirimli betonların üretiminde ince agreganın kullanılmaması ve bu sebeple bazalt fiber örgü takviyesi geçirimli beton ile yeteri kadar aderans sağlayamadığı görülmüştür. Bu sebeple, bazalt fiber örgü takviyesi geçirimli betonların yarmada çekme dayanımını olumsuz etkilemiştir.

4.1.2.4. Eğilme Dayanımı

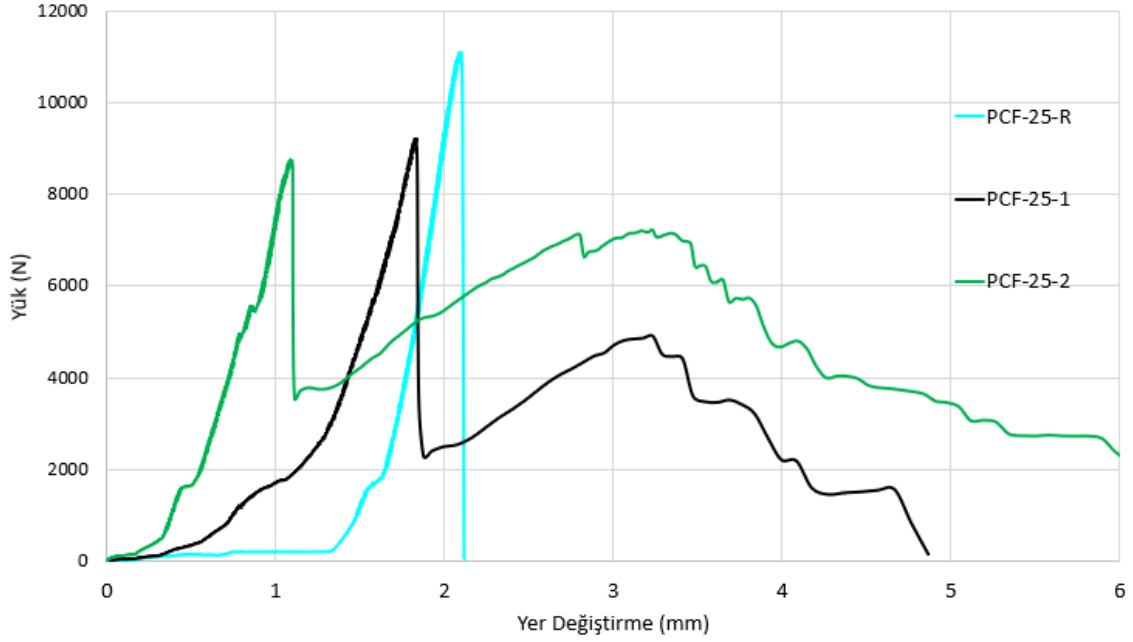
Şekil 4.11'de yer alan grafikte %20 macun hacmi ile hazırlanan fiber örgü takviyeli geçirimli beton numunelerin yük-yer değiştirme değerleri verilmiştir.



Şekil 4.11. %20 macun hacmine sahip fiber örgü takviyeli geçirimli betonun yük-yer değiştirme grafiği.

Şekil 4.11 incelendiğinde %20 macun hacmine sahip numunelerden bazalt fiber örgü takviyesi içermeyen PCF-20-R kodlu numune henüz 1 mm yer değiştirmeye ulaşmadan yük taşıma kapasitesi sona ermiştir. Tek kat bazalt fiber örgü takviyeli PCF-20-1 ve iki kat bazalt fiber örgü takviyeli PCF-20-2 kodlu numuneler betonun yük taşıma kapasitesi sonlanmasına rağmen içeriğinde bulunan fiber örgü sayesinde yük taşımaya devam ettikleri gözükmemektedir.

%25 macun hacmi ile hazırlanan fiber örgü takviyeli geçirimli beton numunelerinin yük-yer değiştirme değerleri Şekil 4.12’de yer alan grafikte verilmiştir.



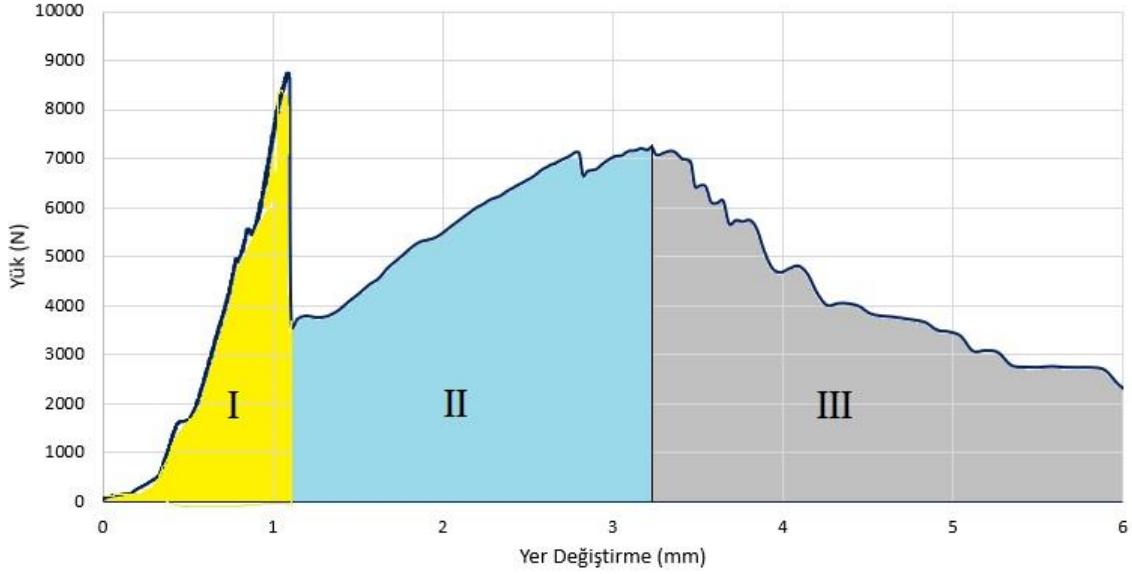
Şekil 4.12 %25 macun hacmine sahip fiber örgü takviyeli geçirimli betonun yük-yer değiştirme grafiği.

Şekil 4.12 incelendiğinde %25 macun hacmine sahip numunelerden bazalt fiber örgü takviyesi içermeyen PCF-25-R kodlu numune 2 mm yer değiştirmeye ulaştıktan sonra taşıma kapasitesi sona ermiştir. Tek kat bazalt fiber örgü takviyeli PCF-25-1 ve iki kat bazalt fiber örgü takviyeli PCF-25-2 kodlu numunelerin betonun yük taşıması sonlanmasına rağmen içeriğinde bulunan fiber örgü sayesinde yük taşımaya devam ettikleri gözükmemektedir.

Şekil 4.11 ve Şekil 4.12'den görüleceği gibi fiber örgü takviyesi yapılmayan referans numunelerin maksimum yük değeri fiber örgü takviyeli numunelere göre yüksektir. Bunun sebebi fiber örgü takviyesinin geçirimli betonda yerleştirmeye bağlı agregalar arası boşluk oranının arttırmasıdır. 1. Aşama kapsamında yapılan deney sonuçlarından Şekil 4.6'de boşluk oranı arttıkça geçirimliliğin arttığı gösterilmiştir. Bölüm 4.1.7'de fiber örgü takviyeli geçirimli beton numunelerinin geçirimlilik değerlerinin referans numunelere göre fazla olduğu sonucuna ulaşılmıştı. Başka bir deyişle, geçirimliliği fazla olan numunelerin boşluk oranı fazladır anlamı taşımaktadır. Boşluk oranları artan geçirimli beton numunelerin agregalar arası bağın zayıflaması nedeniyle maksimum yük değeri düşmüştür. Ancak geçirimli betonun kullanım alanı düşünüldüğünde farklı yükler altında hizmet süresinin uzaması büyük önem arz etmektedir. Bu bakımdan bazalt fiber örgü takviyeli geçirimli beton kullanım alanı açısından beklenen performansı

göstermiştir.

Bazalt fiber örgü takviyesinin geçirimli betonun yük- yer değiştirme eğrisine nasıl etki ettiği Şekil 4.13'te gösterilmiştir.



Şekil 4.13. %25 macun hacmine sahip 2 kat bazalt fiber örgü takviyeli geçirimli betonun (PCF-25-2) yük- yer değiştirme grafiği.

Şekil 4.13'ten görüleceği üzere yük-yer değiştirme eğrisi 3 parçaya bölünmüştür. I numaralı kısımda geçirimli beton doğrusal elastisite davranışı göstermiş ve sonra gevrek kırılma meydana gelmiştir. II numaralı kısımda geçirimli betonun içerisindeki bazalt fiber örgü takviyesi I. bölgeden görece daha etkili olmuş ve taşıma kapasitesi geri kazanılmıştır. III numaralı kısımda ise bazalt fiber örgünün uzaması/betondan sıyrılması veya liflerin kopmaya başlaması sebebiyle taşıma kapasitesi düşmüştür.

Çizelge 4.3'de bazalt fiber örgü takviyeli geçirimli beton numunelerin maksimum yüke karşılık gelen yer değiştirmeleri ve eğilme dayanımları verilmiştir.

Çizelge 4.3 Bazalt fiber örgü takviyeli geçirimli beton numunelerinin eğilme dayanımları.

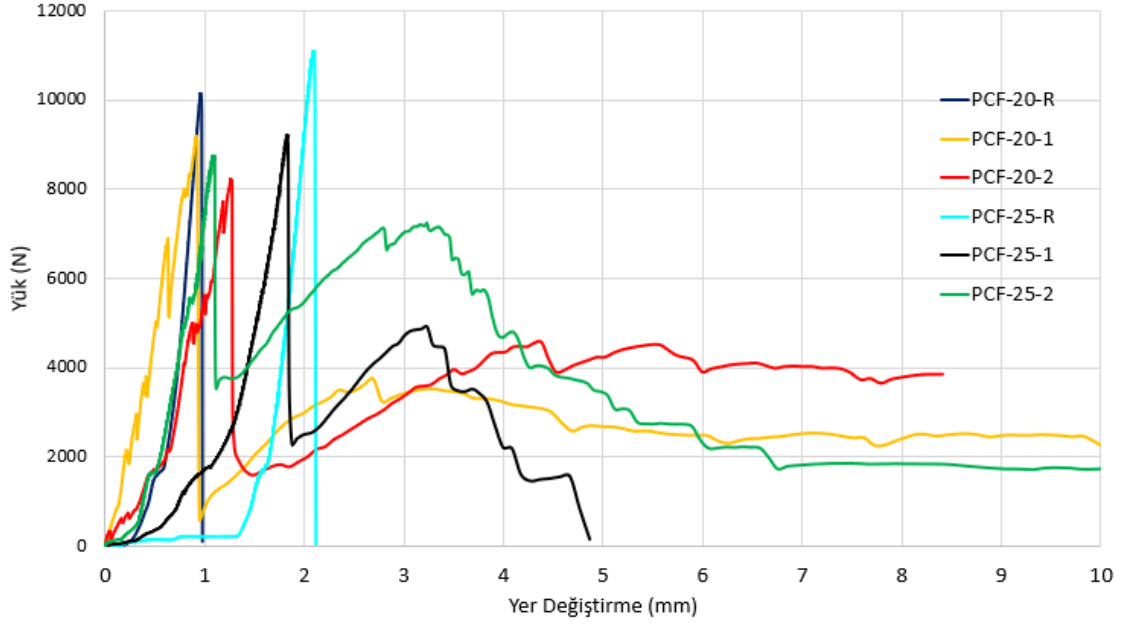
Seriler	Maksimum Yük (N)	Yer Değiştirme (mm)	Eğilme Dayanımı (N/mm ²)
PCF-20-R	10154.68	0.75	3.05

Çizelge 4.3 Devamı.

PCF-20-1	9191.85	0.91	2.76
PCF-20-2	8224.88	1.26	2.47
PCF-25-R	11077.26	2.09	3.32
PCF-25-1	9198.07	1.83	2.76
PCF-25-2	8739.94	1.09	2.62

Çizelge 4.3 incelendiğinde %20 macun hacmine sahip PCF-20-R kodlu geçirimli beton numunesinin tek kat ve çift kat bazalt fiber örgü takviyeli geçirimli beton numunelerine göre daha yüksek eğilme dayanımı değerine sahip olduğu görülmüştür. Aynı şekilde %25 macun hacmine sahip PCF-25-R kodlu geçirimli beton numunesinin tek kat ve çift kat bazalt fiber örgü takviyeli geçirimli beton numunelerine (PCF-25-1 ve PCF-25-2) göre daha yüksek eğilme dayanımı değerine sahip olduğu görülmüştür. Boşluk oranı ve gözenekliliğin artması basınç dayanım değerlerinde olduğu gibi eğilme dayanımında da azalmaya sebebiyet vermektedir.

Bazalt fiber örgü takviyeli geçirimli beton numuneleri üzerinde gerçekleştirilen yük-yer değiştirme grafikleri Şekil 4.14'de verilmiştir.



Şekil 4.14 Bazalt fiber örgü takviyeli geçirimli beton numunelerinin yük-yer değiştirme grafiği.

Şekil 4.14 incelendiğinde %25 macun hacmine sahip karışımlardan elde edilen fiber örgü takviyeli numunelerin, %20 macun hacmine sahip karışımlardan elde edilen fiber örgü takviyeli numunelere göre daha sünek bir davranış göstermiştir. Bazalt fiber örgü takviyeli geçirimli beton numuneleri, beton dayanımını kaybettikten sonra bile fiber örgü sayesinde yük taşımaya devam ettiği, devamında ise fiber örgüler kopana kadar veya betondan sıyrılanaya kadar deplasmana devam ettiği görülmektedir.

Çizelge 4.4. F_{max}, 2 mm, 6 mm, 10 mm ve test sonu sonuçlarına göre maksimum yük ve tokluk değerleri.

Seriler	F _{max}		2 mm		6 mm		10 mm		Test Sonu	
	Yük (N)	Tokluk (N.mm)	Yük (N)	Tokluk (N.mm)	Yük (N)	Tokluk (N.mm)	Yük (N)	Tokluk (N.mm)	Yük (N)	Tokluk (N.mm)
PCF-20-R	10154,68	2469,15	-	-	-	-	-	-	100,00	2494,39
PCF-20-1	9191,85	3940,83	3125,68	6500,58	2482,99	18400,66	2241,41	28357,22	2492,84	30893,71
PCF-20-2	8224,88	3882,38	1998,85	5376,53	3903,08	20447,12	-	-	3851,15	29915,85

Çizelge 4.4. Devamı.

PCF-25- R	11077,26	3313,45	9128,70	2389,75	-	-	-	-	9600,71	3574,33
PCF-25- 1	9198,07	4223,21	2498,43	4725,93	-	-	-	-	152,47	13475,71
PCF-25- 2	8739,94	3154,03	5489,75	7249,36	2374,67	26842,76	1738,27	34447,58	428,42	64758,95

Çizelge 4.4 incelendiğinde %20 macun hacmine sahip karışımlardan elde edilen tek ve çift kat bazalt fiber örgü takviyeli geçirimli beton numunelerinin test sonu tokluk değerleri referans numuneye göre sırasıyla %1138 ve %1099 oranlarında daha yüksektir.

Yine %25 macun hacmine sahip karışımlardan elde edilen tek ve çift kat bazalt fiber örgü takviyeli geçirimli beton numunelerinin test sonu tokluk değerleri referans numuneye göre sırasıyla %1712 ve %277 oranlarında daha yüksektir.

Farklı macun hacmine sahip karışımlardan elde edilen geçirimli beton numuneleri birbiri ile kıyaslandığında, %25 macun hacmine sahip referans geçirimli beton numuneleri %20 macun hacmine sahip referans geçirimli beton numunelerine kıyasla %43 daha fazla tokluk değerine sahiptir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, fiber örgü takviyesi yapılan geçirimli betonlar referans geçirimli beton numunelerine göre çok daha sünek bir yapıya sahiptir. Kaplama olarak kullanılacak fiber örgü takviyeli geçirimli beton yük altında tamamen parçalanmadan daha uzun süre hizmet verecektir. En uygun performansı PCF-25-2 kodlu %25 macun hacmine sahip 2 kat bazalt fiber örgü takviyeli geçirimli beton numunesinden elde edilmiştir. Farklı katmanlarda jeogrid takviyesi yaparak üretilen geçirimli betonların dayanımının araştırıldığı bir çalışmada 2 katmanlı jeogrid takviyesinin en iyi performansı gösterdiği bildirilmiştir [49]. Eğilme deney sonuçlarından elde edilen veriler ile literatür uyumludur.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Geçirimsiz kaplamaların sebep olduğu kent içi sel, taşkın, su basma gibi problemleri en aza indirmek amacıyla geçirimli beton kullanımının yaygınlaştırılması ve geçirimli kaplamalarda mekanik özellikleri artırma hedefi doğrultusunda yapılan bu çalışma 2 farklı aşamadan meydana gelmiştir. Birinci aşamada 5-10 mm ve 10-15 mm ebatlarında farklı boyutta agregalar ve farklı macun hacimleri (%15, %20, %25) kullanılarak optimum karışım tasarımının tespiti hedeflenmiştir. Birinci aşama kapsamında yapılan çalışmaların sonuçları aşağıda verilmiştir.

- 10-15 mm bazalt agregası ile hazırlanan numuneler 5-10 mm agregası ile hazırlanan numunelere göre yoğunlukları düşük, boşluk oranları fazladır. Daha büyük agregalar ile yapılan karışımların boşluk oranları daha fazla olmaktadır.
- Boşluk oranı arttıkça geçirimli betonun geçirimlilik katsayısı artmaktadır. En yüksek (1,24 cm/sn) geçirimlilik katsayısına %15 macun hacmine sahip 10-15 mm bazalt agregadan üretilen geçirimli beton numuneleri sahiptir. En düşük (0,49 cm/sn) geçirimlilik katsayısına da %25 macun hacmine sahip 5-10 mm bazalt agregadan üretilen geçirimli beton numuneleri sahiptir.
- Boşluk oranı ile basınç dayanımı ters orantılıdır. %15 macun hacmine sahip 10-15 mm agregası ile üretilen geçirimli beton numuneleri en yüksek boşluk oranına ve en düşük basınç dayanımına (14,10 MPa) sahiptir. En yüksek basınç dayanımına (26,81 MPa) ise %25 macun hacmine sahip 5-10 mm agregası ile üretilen geçirimli beton numuneleri sahiptir.
- Yarmada çekme dayanımı, basınç dayanımında olduğu gibi boşluk oranı ile ters orantılıdır.
- Macun hacmi arttıkça betonun mekanik özellikleri artmaktadır. Ancak betonun geçirimliliği azalmaktadır. Çalışma kapsamında ince malzeme, yüksek fırın cürufu, uçucu kül vb. katkıları kullanılmadığı için tıkanma sorunu yaşanmamıştır.
- Yerleştirme ve sıkıştırma geçirimli beton için çok önemli bir faktördür. Standart sapmanın çok uzağında mekanik ve fiziksel değerler kaydedilen numuneler bulunmaktadır. Bu durumun, numunelerin hazırlanması sürecinde agregaların numune kabına yeterince yerleştirilememesine/sıkıştırılmamasına bağlanmıştır.

Bu çalışmanın ikinci aşamasında, 5-10 mm agrega ve %20 ve %25 macun hacmine sahip bazalt fiber örgü takviyeli numuneler hazırlanmıştır. Referans, tek kat ve çift kat fiber örgü takviyeli olmak üzere 3 farklı tip numune hazırlanmıştır. İkinci aşamada silindir ve prizma şekilli numuneler üzerinde yapılan deney sonuçları aşağıda verilmiştir.

- Bazalt fiber örgü takviyesi, geçirimli betonun gözenekliliğini arttırmaktadır. Gözenekliliği artan ve agregalar arası bağı zayıflayan geçirimli betonun basınç ve çekme dayanımları görece referans numuneye göre düşüktür. En yüksek basınç (28,39 MPa) dayanımına sahip numune PCF-25-R kodlu bazalt fiber takviyesi olmayan numunedir.
- Bazalt fiber örgü takviyesi yapılan geçirimli betonların geçirimlilik katsayıları referans numunelere göre fazladır. PCF-20-2 kodlu çift katlı fiber örgü takviyeli geçirimli beton numunesi en yüksek geçirimliliğe (1,29 cm/sn) sahiptir.
- Bazalt fiber örgü takviyesi geçirimli betonun tokluk değerlerini arttırmıştır. 10x10x50 cm numuneler üzerinde yapılan eğilme dayanımlarına bakıldığında, PCF-20-R ve PCF-25-R kodlu referans numunelerin maksimum yük altında eğilme dayanımları sırasıyla 3,05 MPa ve 3,32 MPa olmak üzere diğer numunelere göre en yüksek değerlerdir. Ancak tek kat ve 2 kat fiber örgü takviyesi yapılan numuneler yük altında referans numunelere göre daha fazla yer değiştirme değerine sahiptir. Yük-yer değiştirme eğrilerine bakıldığında bazı numunelerin 10 mm üzerinde yer değiştirmelere karşılık yük taşımaya devam ettiği görülmektedir. Referans numunelerin yük altında yer değiştirmeleri çok kısıtlıdır, beton gevrek kırılma sonucu yük taşıyamaz hale gelmektedir.
- Bazalt fiber örgü ile takviye edilmiş geçirimli betonun yük altında davranışı 3 kısımda ele alınabilir; Elastik deformasyon ve kırılma (I. Kısım), fiber örgü sayesinde taşıma kapasitesinin yeniden kazanımı (II. Kısım) ve çatlakların büyüyerek dayanımın düşmesi (III. Kısım).
- Bazalt fiber örgü takviyesi geçirimli betonun kaplama olarak kullanılması durumunda uzun süre hizmet vermesini sağlayacak yük altında yer değiştirme imkanını sunmaktadır.

Bu çalışma ile bazalt fiber örgü takviyesinin geçirimli betonların yük altında davranışlarının iyileştirilebildiği gösterilmiştir. Geçirimli betonlarda geleneksel betonlarda olduğu gibi donatı çeliği kullanmak imkânsız olduğundan bazalt fiber örgü geçirimli betonda donatı olarak kullanılabilir.

Geçirimli beton numunesi üretiminde dikkat edilmesi gerekenler ve öneriler aşağıda yer almaktadır:

- Geçirimli beton üretimi için ana felsefe; boşluk oranı, mukavemet, çimento macunu içeriği ve işlenebilirlik arasında denge sağlamak olduğundan doğru su/çimento oranı ile basitleştirilmiş ve özelleştirilmiş sıkıştırma tekniği uygulanması çok önemlidir. Geçirimli betonun sıkıştırma teknikleri ile ilgili geniş çaplı araştırma yapılmalıdır.
- Bu çalışma kapsamında hazırlanan karışımlarda agrega boyutu 5-10 mm'den daha düşük derecelendirmeye sahip olmadığından daha alt derecelendirmelerde sonuçların ne olacağı araştırılmalıdır.
- Geçirimli betonun fiziksel ve mekanik özelliklerini iyileştirmek için betonda kullanılacak farklı donatı takviyeleri araştırılmalıdır. Özellikle kullanılacak donatı agregalar arası bağı zayıflatmaması ancak geçirimlilikten de ödün vermemesi açısından önemlidir. Bu bakımdan farklı göz açıklıklarına sahip jeogridler veya fiber örgüler kullanılarak hazırlanan numuneler üzerinde deneyler yapılmalıdır.
- Geçirimli betonla alakalı saha modellemeleri daha fazla yapılmalı, yerinde ölçüm deney yöntemleri oluşturulması için literatüre katkı sağlanmalıdır.

6. KAYNAKLAR

- [1] Ramkrishnan, R., et al., "Effect of mineral admixtures on pervious concrete," *Materials Today:Proceedings*, c. 5, sayı 11, ss. 24014-24023, 2018.
- [2] Mesut Çimen, K.S., Elif Gülen Çimen, "Kentsel Alanlarda Taşkın Risklerinin Azaltılması ve Yeraltı Suyu Beslemesinin Önemi," *Uluslararası Çevre Kongresi*, Bursa, Türkiye, 2018.
- [3] Özmen, M.T., *Sel-Taşkın Türkiye ve Antalya*, Antalya, Türkiye, İMO, 2015.
- [4]. Tarım ve Orman Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü Araştırma Dairesi Başkanlığı, *Meteorolojik Afetler 2018 Yılı Değerlendirilmesi*, Ankara. 2018.
- [5]. Xie, X., et al., "Mixture proportion design of pervious concrete based on the relationships between fundamental properties and skeleton structures", *Cement and Concrete Composites*, c. 113, sayı 103693, 2020.
- [6]. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. *Geçirimli Beton Uygulama Kılavuzu*. Ankara: Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2018.
- [7]. Department of Environmental Resource, *Low-impact development: An integrated design approach*. Largo, Maryland, 1999.
- [8]. Sharma, A.K., et al., "WSUD design guidelines and data needs", in *Approaches to Water Sensitive Urban Design*, Woodhead Publishing, ss. 75-86, 2019.
- [9]. Furumai, H., et al., "Model description of storage and infiltration functions of infiltration facilities for urban runoff analysis by a distributed model", *Water Science and Technology* c. 52, sayı 5., ss 53-60 , 2005.
- [10]. Andoh, R.Y. and K.O. Iwugo, "Sustainable urban drainage systems: a UK perspective", In *Global Solutions for Urban Drainage*. ss. 1-16, 2002.
- [11]. Xu, G., et al., "Investigation on the properties of porous concrete as road base material", *Construction and Building Materials*, c.158, ss. 141-148, 2018.
- [12]. American Concrete Institute, "Report on Pervious Concrete", USA, 2010.
- [13]. G. Grant, *The Water Sensitive City*, United Kingdom, John Wiley&Sons, 2016.
- [14]. Yahia, A. and K.D. Kabagire, "New approach to proportion pervious concrete", *Construction and Building Materials*, sayı 62, ss. 38-46, 2014.
- [15]. Tennis, P.D., M.L. Leming, and D.J. Akers, *Pervious concrete pavements*, sayı 8, IL: Portland Cement Association, Maryland, USA, 2004.
- [16]. Marolf, A., et al., "Influence of aggregate size and gradation on acoustic absorption of enhanced porosity concrete", *ACI Materials Journal-American Concrete Institute*, sayı 101, ss. 82-91, 2004.
- [17]. Haselbach, L., C. Poor, and J. Tilson, "Dissolved zinc and copper retention from stormwater runoff in ordinary portland cement pervious concrete", *Construction and Building Materials*, sayı 53, ss. 652-657, 2014.
- [18]. Fu, L.B. and Y. Zhang, "Experimental Study on Mechanical Properties of Pervious Concrete", *Applied Mechanics and Materials*, sayı 174, ss. 999-1002, 2012.
- [19]. Sahdeo, S.K., et al., "Effect of mix proportion on the structural and functional properties of pervious concrete paving mixtures", *Construction and Building Materials*, sayı 255, ss.119260, 2020.

- [20]. Yu, F., et al., "Influence of aggregate size on compressive strength of pervious concrete", *Constuction and Building Materials*, sayı 209, ss. 463-475, 2019.
- [21]. Cui, X., et al., "Experimental study on the relationship between permeability and strength of pervious concrete", *Journal of Materials in Civil Engineering*, c.11, sayı 29, ss. 04017217, 2017.
- [22]. Al-Baijat, H.M., "The use of basalt aggregates in concrete mixes in Jordan", *Jordan Journal of Civil Engineering*, c. 1, sayı 2, ss. 63-70, 2008.
- [23]. Kishore, I.S., et al., "Experimental study on the use of basalt aggregate in concrete mixes", *International Journal of Civil Engineering*, c. 4, sayı 2, ss. 37-40, 2015.
- [24]. Aliabdo, A.A., et al., "Experimental investigation on permeability indices and strength of modified pervious concrete with recycled concrete aggregate", *Constuction and Building Materials*, sayı 193, ss. 105-127, 2018.
- [25]. Orhan, Ş., "Geri Dönüşüm Agregası ve Polimer Kullanımının Poröz Betonların Özelliklerine Etkisi", Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ege Üniversitesi, İzmir, Türkiye, 2019.
- [26]. Zaetang, Y., et al., "Properties of pervious concrete containing recycled concrete block aggregate and recycled concrete aggregate", *Constuction and Building Materials*, sayı 111, ss. 15-21, 2016.
- [27]. Sun, Z., et al., "Pervious concrete made of alkali activated slag and geopolymers", *Constuction and Building Materials*, sayı 189, ss. 797-803, 2018.
- [28]. Torres, A., et al., "The effect of the cementitious paste thickness on the performance of pervious concrete", *Constuction and Building Materials*, sayı 95, ss. 850-859, 2015.
- [29]. Bilgiç, E., "Use Of Excess Paste Theory And Image Analysis to investigate Properties of Pervious Concrete", Yüksek Lisans Tezi, İzmir Teknoloji Enstitüsü, İzmir, Türkiye, 2019.
- [30]. Neithalath, N., et al., "Modeling the influence of pore structure on the acoustic absorption of enhanced porosity concrete", *Journal of Advanced Concrete Technology*, c. 1, sayı 3, ss. 29-40, 2005.
- [31]. Meininger, R.C., "No-fines pervious concrete for paving", *Concrete International*, c. 8, sayı 10, ss. 20-27, 1988.
- [32]. Yang, J., Jiang, G., "Experimental study on properties of pervious concrete pavement materials", *Cement and Concrete Research*, c. 3, sayı 33, ss. 381-386, 2003.
- [33]. Nelson, P.M., "Designing porous road surfaces to reduce traffic noise", *TRL Annual Review*, ss. 33-41, 1995.
- [34]. Kabir, A., M. Hasan, and M.K. Miah. "Predicting 28 days compressive strength of concrete from 7 days test result", *Proceedings of the International Conference on Advances in Design and Construction of Structures*, Bangalore India, 2012.
- [35]. Marolf, A., et al., "Influence of aggregate size and gradation on acoustic absorption of enhanced porosity concrete", *ACI Materials Journal-American Concrete Institute*, c. 1, sayı 101, ss. 82-91, 2004.
- [36]. Onstenk, E., et al., "Laboratory study of porous concrete for its use as top-layer of

- concrete pavements", in *Fifth International Conference on Concrete Pavement Design and Rehabilitation* Purdue University, School of Civil Engineering; Federal Highway Administration; Portland Cement Association; Transportation Research Board; Indiana Department of Transportation; Federal Aviation Administration; and American Concrete Pavement Association., sayı 2, ss. 125-139, West Lafayette, India, 1993.
- [37]. Wang, K., et al., "Development of mix proportion for functional and durable pervious concrete", In *NRMCA concrete technology forum: focus on pervious concrete*, ss. 1-12, Nashville, 2006.
- [38]. Rangelov, M., S. Nassiri, and Z. Chen, "Preliminary study to develop standard acceptance tests for pervious concrete", Washington State University, Department of Civil and Environmental Engineering, USA, Rep. WA-RD 868.1, 2017.
- [39]. Lian, C., Y.J.C. Zhuge, "Optimum mix design of enhanced permeable concrete—an experimental investigation", *Constuction and Building Materials*, c. 12, sayı 24, ss. 2664-2671.
- [40]. Suleiman, M., et al., "Effect of compaction energy on pervious concrete properties", *In Submitted to Concrete Technology Forum-Focus on Pervious Concrete, National Ready Mix Concrete Association*, ss. 23-25, Nashville, TN, 2006.
- [41]. Xie, N., M. Akin, and X., Shi, "Permeable concrete pavements: A review of environmental benefits and durability", *Journal of Cleaner Production*, sayı 210, ss. 1605-1621, 2019.
- [42]. Sahdeo, S.K., et al., "Effect of mix proportion on the structural and functional properties of pervious concrete paving mixtures", *Constuction and Building Materials*, sayı 255, ss. 119260, 2020.
- [43]. Polat, N.M., "Lifli Geçirimli Beton Yol Üst Yapısının Durabilitesinin İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya, 2019.
- [44]. Saboo, N., et al., "Effect of fly ash and metakaolin on pervious concrete properties", *Constuction and Building Materials*, sayı 223, ss. 322-328, 2019.
- [45]. Adil, G., et al., "Influence of silica fume on mechanical and durability of pervious concrete", *Constuction and Building Materials*, sayı 247, ss. 118453, 2020.
- [46]. Zhang, G., et al., "Properties of pervious concrete with steel slag as aggregates and different mineral admixtures as binders", *Constuction and Building Materials*, sayı 257, ss. 119543, 2020.
- [47]. Borhan, T.M. and Al Karawi, R.J., "Experimental investigations on polymer modified pervious concrete", *Case Studies in Constuction Materials*, sayı 12, ss. e00335, 2020.
- [48]. Zhong, R., Wille, K., "Material design and characterization of high performance pervious concrete". *Constuction and Building Materials*, sayı 98, ss. 51-60, 2015.
- [49]. Meng, X., et al., "Experimental investigation on the flexural behavior of pervious concrete beams reinforced with geogrids", *Constuction and Building Materials*, sayı 215, ss. 275-284, 2019.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Emre KARAALIOĞLU

Yabancı Dili : İngilizce

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Yüksek Lisans	İnşaat Mühendisliği	Düzce Üniversitesi	2023
Lisans	İnşaat Mühendisliği	Kırıkkale Üniversitesi	2010
Lise	Fen	Savaştepe Lisesi	2005

TECRÜBE VE İŞ HAYATI

2010- 2011 Denaş Yapı Denetim Ltd. Şti.

2011- 2012 Avrupa Sistem İnşaat Ltd. Şti.

2012- Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı

YAYINLAR

Karaalioglu E., Comak B., Aykanat B., (2022), Geçirimli Betonlara ve Uygulamalarına Genel Bir Bakış, *International Ankara Congress On Scientific Research VI, April 1-3, 2022 Ankara*