



**T.C.**

**BATMAN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BETON YOL KAPLAMA İNŞASINDA  
BAZALTIN KULLANILABİLİRLİĞİ**

**Furkan KINAY**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Temmuz-2020  
BATMAN  
Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ KABUL VE ONAYI

Furkan KINAY tarafından hazırlanan “Beton Yol Kaplama İnşasında Bazaltın Kullanılabilirliği” adlı tez çalışması 09/07/2020 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oy birliği ile Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

### Jüri Üyeleri

### İmza

#### Başkan

Prof. Dr. Hakan ÇOBAN

.....

#### Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Abdulrezzak BAKIŞ

.....

#### Üye

Dr. Öğr. Üyesi Nuray ALPASLAN

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Şahnaz Tiğrek  
FBE Müdürü

## **TEZ BİLDİRİMİ**

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

## **DECLARATION PAGE**

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Furkan KINAY

Tarih:09.07.2020

# ÖZET

## YÜKSEK LİSANS TEZİ

### BETON YOL KAPLAMA İNŞASINDA BAZALTIN KULLANILABİLİRLİĞİ

Furkan KINAY

Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Abdulrezzak BAKIŞ

2020, 73 Sayfa

Jüri

Prof. Dr. Hakan ÇOBAN

Dr. Öğr. Üyesi Abdulrezzak BAKIŞ

Dr. Öğr. Üyesi Nuray ALPASLAN

Bu çalışmada, bazaltın beton yol kaplama inşasında kullanılabilirliği araştırılmıştır. Çalışmada, çelik lif içermeyen bazalt beton, çelik lif içeren bazalt beton, çelik lif içermeyen bazalt pudra beton ve çelik lif içeren bazalt pudra beton olmak üzere dört farklı rijit yol kaplama betonu üretildi. Bu çalışmada beton üretiminde su/bağlayıcı oranı 0,44 olarak alındı. Çelik lif içeren bazalt pudra beton üretiminde, dane çapı 0–1,0 mm olan bazalt agrega kullanıldı. Çapı 0,70 mm ve uzunluğu 35 mm olan çelik lifler beton karışımına eklendi. Kalıplardan çıkarılan tüm beton numunelerine 28 günlük hava kürü, 28 günlük  $20\pm 5^{\circ}\text{C}$  su kürü ve kombine kür (3 gün  $20\pm 5^{\circ}\text{C}$  su kürü + 2 gün  $200\pm 5^{\circ}\text{C}$  etüv kürü) yapıldı. Hava kürü, su kürü ve kombine kür işlemlerinden sonra, tüm küp beton numunelerinin basınç testleri yapıldı. 28 gün hava kürü sonrası, çelik lif içermeyen bazalt pudra betonun maksimum basınç dayanımı 46,7 MPa olarak bulundu. 28 gün  $20\pm 5^{\circ}\text{C}$  su kürü sonrası, çelik lif içermeyen bazalt pudra betonun maksimum basınç dayanımı 59,8 MPa olarak bulundu. Kombine kür (3 gün  $20\pm 5^{\circ}\text{C}$  su kürü + 2 gün  $200\pm 5^{\circ}\text{C}$  etüv kürü) sonrası, çelik lif içermeyen bazalt pudra betonun maksimum basınç dayanımı 80,7 MPa olarak bulundu. 28 gün hava kürü sonrası, çelik lif içeren bazalt pudra betonun maksimum basınç dayanımı 50,4 MPa olarak bulundu. 28 gün  $20\pm 5^{\circ}\text{C}$  su kürü sonrası, çelik lif içeren bazalt pudra betonun maksimum basınç dayanımı 66,2 MPa olarak bulundu. Kombine kür (3 gün  $20\pm 5^{\circ}\text{C}$  su kürü + 2 gün  $200\pm 5^{\circ}\text{C}$  etüv kürü) sonrası, çelik lif içeren bazalt pudra betonun maksimum basınç dayanımı 88,8 MPa olarak bulundu. Çalışma sonucunda en yüksek basınç dayanımını sağlayan kür tipinin kombine kür olduğu görüldü. Çalışma sonuçları bazalt pudra betonların, beton yol kaplama inşasında kullanılabilirliğini göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Basınç dayanımı, bazalt, bazalt pudra beton, beton kaplama, beton yol, çelik lif, kombine kür.

# **ABSTRACT**

## **MS THESIS**

### **USABILITY OF BASALT IN THE CONSTRUCTION OF CONCRETE ROAD PAVEMENT**

**Furkan KINAY**

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF  
BATMAN UNIVERSITY  
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN CIVIL ENGINEERING**

**Advisor: Asst. Prof. Dr. Abdulrezzak BAKIŞ**

**2020, 73 Pages**

#### **Jury**

**Prof. Dr. Hakan ÇOBAN**

**Asst. Prof. Dr. Abdulrezzak BAKIŞ**

**Asst. Prof. Dr. Nuray ALPASLAN**

In this study, the usability of basalt in the construction of concrete road pavement was investigated. In the study, four different types of rigid pavement concretes were produced, including basalt concrete not containing steel fiber, basalt concrete containing steel fiber, basalt powder concrete not containing steel fiber and basalt powder concrete containing steel fiber. In this study, water/binder ratio in concrete production was taken as 0.44. In the production of basalt powder concrete containing steel fiber, basalt with a grain diameter of 0.1–1.0 mm was used as aggregate. Steel fibers with a diameter of 0.70 mm and length of 35 mm were added to the concrete mixture. 28 days of air curing, 28 days and 20±5°C of water curing and combined curing (3 days and 20±5°C of water curing + 2 days and 200±5°C of drying oven curing) were carried out on all the types of concrete extracted from the molds. After air curing, standard water curing and combined curing, compression tests of the same types of cube concrete samples were carried out. At 28 days of air curing, the compressive strength was 46.7 MPa for basalt powder concrete without steel fiber. At 28 days and 20±5°C of water curing, the compressive strength was 59.8 MPa for basalt powder concrete without steel fiber. At combined curing (3 days and 20±5 ° C of water curing + 2 days and 200±5 ° C of drying oven curing), the compressive strength was 80.7 MPa for basalt powder concrete without steel fiber. At 28 days of air curing, the compressive strength was 50.4 MPa for basalt powder concrete containing steel fiber. At 28 days and 20±5°C of water curing, the compressive strength was 66.2 MPa for basalt powder concrete containing steel fiber. At combined curing (3 days and 20±5 ° C of water curing + 2 days and 200±5 ° C of drying oven curing), the compressive strength was 88.8 MPa for basalt powder concrete containing steel fiber. As a result of the study, it was seen that the type of curing that gives the highest compressive strength is combined curing. The results of the study showed that basalt powder concrete can be used in concrete road pavement construction.

**Keywords:** Basalt, basalt powder concrete, combined curing, compressive strength, concrete pavement, concrete road, steel fiber.

## ÖNSÖZ

Çalışmanın her aşamasında emeği geçen, karşılaştığım zorlukların üstesinden gelmeme yardımcı olan ve beni yönlendiren çok değerli danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Abdulrezzak BAKIŞ'a teşekkür eder, saygılarımı sunarım.

Çalışmalarında yardımlarını esirgemeyen ve her zaman desteğini benden esirgemeyen çok değerli hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Abdullah MURATOĞLU'na teşekkür eder, saygılarımı sunarım.

Yüksek lisans tez jürime katılan Sayın Prof. Dr. Hakan ÇOBAN ve Sayın Dr. Öğr. Üyesi Nuray ALPASLAN'a teşekkür eder, saygılarımı sunarım.

Çalışmalarda yardımlarını esirgemeyen ADABAĞ Yapı Anonim Şirketi personeli Serkan CEVRİN'e teşekkür eder, saygılarımı sunarım.

Hayatım boyunca yanımda olup destek çıkan babam, annem ve eşime teşekkür ederim.

Furkan KINAY  
BATMAN-2020

# İÇİNDEKİLER

<b>ÖZET</b> .....	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>v</b>
<b>ÖNSÖZ</b> .....	<b>vi</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>vii</b>
<b>ŞEKİLLER LİSTESİ</b> .....	<b>ix</b>
<b>ÇİZELGELER LİSTESİ</b> .....	<b>xi</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR</b> .....	<b>xiii</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
1.1. Yol Üstyapı Tipleri .....	2
1.1.1. Esnek üstyapılar .....	2
1.1.2. Rijit üstyapılar.....	3
1.2. Reaktif Pudra Beton.....	3
<b>2. KAYNAK ARAŞTIRMASI</b> .....	<b>7</b>
<b>3. MATERYAL VE YÖNTEM</b> .....	<b>10</b>
3.1. Bazalt agregalı lifsiz referans beton (BRB) .....	10
3.1.1. Bazalt agregalı lifsiz referans beton (BRB) karışım malzemeleri .....	10
3.1.1.1. Portland çimentosu .....	11
3.1.1.2. Bazalt .....	12
3.1.1.3. Su .....	14
3.1.2. Bazalt agregalı lifsiz referans beton (BRB) karışım miktarları .....	15
3.2. Bazalt agregalı lifli referans beton (BRLB).....	15
3.2.1. Bazalt agregalı lifli referans beton (BRLB) karışım malzemeleri.....	16
3.2.1.1. Çelik Lif .....	16
3.2.2. Bazalt agregalı lifli referans beton (BRLB) karışım miktarları .....	17
3.3. Bazalt Agregalı Lifsiz Pudra Beton (BPB).....	19
3.3.1. Bazalt agregalı lifsiz pudra beton (BPB) karışım malzemeleri .....	19
3.3.1.1. Bazalt tozu .....	20
3.3.1.2. Silis dumanı .....	20
3.3.1.3. Süperakışkanlaştırıcı .....	21
3.3.2. Lifsiz Pudra Beton Karışım Oranları .....	22
3.3.2.1. İdeal lifsiz reaktif pudra beton karışım oranları.....	22
3.3.2.2. Bazalt agregalı lifsiz pudra beton (BPB) .....	24
3.4. Bazalt Agregalı Lifli Pudra Beton (BLPB).....	26
3.4.1. Bazalt agregalı lifli pudra beton (BLPB) karışım malzemeleri .....	26
3.4.2. Lifli Pudra Beton Karışım Oranları .....	27
3.4.2.1. İdeal lifli RPB karışım oranları.....	27
3.4.2.2. Bazalt agregalı lifli pudra beton (BLPB) .....	28
3.5. Kür Çalışmaları.....	30

3.6. Elek Analizi .....	32
3.7. Slump Deneyi .....	32
3.8. Su Emme Deneyi .....	33
3.9. Birim Hacim Ağırlık Deneyi .....	33
3.10. Basınç Deneyi .....	33
3.11. Çekme Dayanımı .....	35
3.12. Eğilmede Çekme Dayanımı .....	36
3.13. Yarmada Çekme Dayanımı .....	36
3.14. Elastisite Modülü .....	37
<b>4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....</b>	<b>38</b>
4.1. Elek Analiz Sonuçları .....	38
4.2. Slump Deney Sonuçları .....	39
4.3. Birim Hacim Ağırlık ve Su Emme Deney Sonuçları.....	39
4.4. Basınç Deney Sonuçları.....	40
4.4.1. Lifsiz ve lifli beton basınç deney sonuçları .....	40
4.4.1.1. Kontrol numunesi (referans beton) beton basınç deney sonuçları.....	40
4.4.1.2. Bazalt agregalı lifli ve lifsiz pudra betonu basınç deney sonuçları .....	41
4.4.1.3. Basınç deneyi genel sonuçları.....	42
4.5. Beton Çekme Dayanım Sonuçları.....	44
4.6. Betonların Eğilme Dayanım Sonuçları .....	46
4.7. Betonların Yarmada Çekme Dayanım Sonuçları.....	48
4.8. Betonların Elastisite Modülü Sonuçları .....	50
<b>5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....</b>	<b>52</b>
5.1 Sonuçlar .....	52
5.2 Öneriler .....	55
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>56</b>
<b>EKLER .....</b>	<b>60</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>60</b>



## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Esnek kaplama tabakaları .....	2
Şekil 1.2. Rijit üstyapı tabakaları.....	3
Şekil 3.1. CEM I 42,5 R çimento görünümü .....	11
Şekil 3.2. Bazalt (0–4 mm) .....	13
Şekil 3.3. Bazalt (4–8 mm) .....	14
Şekil 3.4. Bazalt (8–16 mm) .....	14
Şekil 3.5. Kalıplara dökülmüş bazalt agregalı lifsiz referans beton (BRP) numuneleri. 15	
Şekil 3.6. Çelik lif görünümü.....	16
Şekil 3.7. Bazalt agregalı lifli referans betonun (BRLB) mikser içerisindeki görünümü .....	17
Şekil 3.8. Bazalt agregalı lifli referans betonun (BRLB) karıştırma sonrası görünümü 18	
Şekil 3.9. Bazalt agregalı lifli referans betonun (BRLB) kalıplara dökülmesi ve şişlenerek sıkıştırılması.....	18
Şekil 3.10. Bazalt agregalı lifli referans betonların (BRLB) kalıplara yerleştirme sonrası görünümü .....	19
Şekil 3.11. Bazalt tozu görünümü.....	20
Şekil 3.12. Silis dumanı görünümü.....	21
Şekil 3.13. Süperakışkanlaştırıcı görünümü .....	22
Şekil 3.14. Bazalt agregalı lifsiz pudra betonun (BPB) kalıp içerisindeki görünümü....	25
Şekil 3.15. Bazalt agregalı lifsiz pudra betonun (BPB) kalıp içerisindeki tamamlanmış görünümü .....	26
Şekil 3.16. Bazalt agregalı lifli pudra betonun (BLPB) kalıp içerisindeki görünümü....	30
Şekil 3.17. Beton numunelerin kür havuzundaki görünümü .....	30
Şekil 3.18. Beton numunelerin etüv içerisindeki görünümü .....	31
Şekil 3.19. Beton üretimi için numune eleme işlemleri.....	32
Şekil 3.20. Beton numune kalıp görünümü .....	34
Şekil 3.21. Basınç deney numunelerinin kalıplara yerleştirilmesi.....	34
Şekil 3.22. Beton basınç deney numunelerinin kalıp içerisinde sıkıştırılması .....	35

Şekil 4.1. Referans betonu elek analiz grafiği .....	38
Şekil 4.2. Referans beton numunelerinin basınç deney sonuçları .....	41
Şekil 4.3. Bazalt pudra beton numunelerinin basınç deney sonuçları .....	42
Şekil 4.4. Tüm beton tiplerinin farklı kürlerde basınç deney sonuçları.....	43
Şekil 4.5. Tüm beton tiplerinin farklı kürlerde maksimum çekme dayanımları.....	46
Şekil 4.6. Tüm beton tiplerinin farklı kürlerde maksimum eğilme dayanımları .....	47
Şekil 4.7. Tüm beton tiplerinin farklı kürlerde maksimum yarmada çekme dayanımları .....	49
Şekil 4.8. Tüm beton tiplerinin farklı kürlerde maksimum Elastisite Modülü .....	51

## ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge 1.1. Reaktif pudra betonların karışımın oranları.....	6
Çizelge 3.1. CEM I 42,5 R çimento kimyasal özellikleri.....	11
Çizelge 3.2. CEM I 42,5 R çimento fiziksel ve mekanik özellikleri.....	12
Çizelge 3.3. Bazaltın kimyasal içeriği.....	12
Çizelge 3.4. Bazaltın fiziksel ve mekanik özellikleri.....	13
Çizelge 3.5. Bazalt agregalı lifsiz referans beton (BRB) karışım miktarları.....	15
Çizelge 3.6. BRLB ve BLPB üretiminde kullanılan çelik lif teknik özellikleri.....	17
Çizelge 3.7. Bazalt agregalı lifli referans beton (BRLB) karışım miktarları.....	17
Çizelge 3.8. Silis dumanı fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	21
Çizelge 3.9. Süperakışkanlaştırıcı özellikleri.....	22
Çizelge 3.10. İdeal lifsiz RPB200 karışım oranları.....	22
Çizelge 3.11. İdeal lifsiz RPB karışım miktarları.....	23
Çizelge 3.12. Bazalt agregalı lifsiz pudra beton (BPB) karışım oranları.....	24
Çizelge 3.13. Bazalt agregalı lifsiz pudra beton (BPB) karışım miktarları.....	25
Çizelge 3.14. İdeal lifli RPB200 karışım oranları.....	27
Çizelge 3.15. İdeal lifli RPB200 karışım miktarları.....	28
Çizelge 3.16. Bazalt agregalı lifli pudra beton (BLPB) karışım oranları.....	28
Çizelge 3.17. Bazalt agregalı lifli pudra beton (BLPB) karışım miktarları.....	29
Çizelge 4.1. Referans betonu elek analizi.....	38
Çizelge 4.2. Slump deney sonuçları.....	39
Çizelge 4.3. Beton tiplerinin birim hacim ağırlık ve su emme değerleri.....	39
Çizelge 4.4. Kontrol numunesi beton basınç deney sonuçları.....	40
Çizelge 4.5. Bazalt agregalı lifli ve lifsiz pudra betonu basınç deney sonuçları.....	41
Çizelge 4.6. Basınç deneyi genel sonuçları.....	43
Çizelge 4.7. Beton numunelerin karakteristik silindir basınç dayanımları.....	44
Çizelge 4.8. Beton numunelerin eksenel çekme dayanımları.....	44

Çizelge 4.9. Beton numunelerin eğilme dayanımları .....	46
Çizelge 4.10. Beton numunelerin yarmada çekme dayanımları .....	48
Çizelge 4.11. Beton numunelerin Elastisite Modülü .....	50

## SİMGELER VE KISALTMALAR

### SİMGELER

$W_{8,2}$ : 8,2 ton eşdeğer tek dingil yükü tekerrür sayısı  
 $W/c$ : Su/çimento oranı  
 $M_1$ : İlk ağırlık  
 $M_2$ : Sabit kuru ağırlık  
 $W_a$ : Ağırlıkça su emme  
 $F_{ck}$ : Betonun karakteristik silindir basınç dayanımı  
 $F_{ctk}$ : Betonun aksenal çekme dayanımı  
 $\sigma_e$ : Betonun eğilmede çekme dayanımı  
 $\sigma_c$ : Betonun yarmada çekme dayanımı  
 $E_c$ : Betonun Elastisite Modülü

### KISALTMALAR

RPB: Reaktif Pudra Beton  
ASR: Alkali Silika Reaksiyonu  
BSK: Bitümlü Sıcak Karışım  
MPa: Mega Paskal  
BRB: Bazalt agregalı lifsiz referans beton  
BRLB: Bazalt agregalı lifli referans beton  
BPB: Bazalt agregalı lifsiz pudra beton  
BLPB: Bazalt agregalı lifli pudra beton  
BHA: Birim hacim ağırlık

## 1. GİRİŞ

Esnek ve rijit üstyapılar olmak üzere karayolu üst yapıları iki grupta sınıflandırılmaktadır (Ağar ve ark., 1998). Esnek üstyapı asfalt kaplama inşasında, bitüm malzemesinin ısıtılması sonucu çevre kirliliğinin oluştuğu bilinmektedir. Bunun yanında asfalt kaplamaların iklimsel etkiler sonucu kimyasal yapısının bozularak yaşlanma adı verilen bozulmaya yüz tuttuğu bilinmektedir. Bu nedenle asfalt kaplamalar sürekli bir bakım ve onarım isterler. Beton yollar, asfalt kaplamalara nazaran uzun süreç içerisinde bakım ve onarım gereksinimi duyarlar. Rijit üstyapı beton yol kaplamaları, esnek üstyapı asfalt kaplamalarına nazaran daha iyi bir performans sergilemektedir (Taşdemir ve Ağar, 2002).

Beton yollar ile ilgili fikirsel gelişimler 19. yüzyılın sonlarında başlamıştır. 1933 yılından sonra beton yollar ile ilgili modern tasarımlar uygulanmaya başlanmıştır (Arslan, 2007). Rijit üstyapı, alt temel ve üzerine yapılan beton kaplamadan elde edilir. Ülkemizde beton kaplamalı yol uygulamaları son yıllarda rağbet görmeye başlamıştır. Geleneksel beton kaplamalar donatısız, kısmen donatılı, sürekli donatılı ve ön germeli olarak inşa edilebilmektedir. Bu çalışmada, yüksek basınç dayanımı beklenen bazalt pudra betonun rijit kaplamalara uygulanmasıyla, yol kaplamalarında donatı kullanımına ihtiyaç olmayacağı tahmin edilmektedir. Böylece beton yol inşasında önemli bir maliyet kalemi olan donatı uygulaması son bulacaktır. Bazalt pudra beton üretiminde tamamen yerli malzeme kullanılmasından dolayı, asfalt kaplamalara kıyasla daha ekonomik bir çözüm sağlanabilir.

Bazalt pudra betonun basınç dayanımının, C30/37 gibi normal dayanımlı betonlara nazaran yüksek olmasından dolayı, geleneksel beton kaplamalara nazaran çok daha az bir kaplama kalınlığında inşa edilebileceği beklenmektedir. Bu şekilde beton yol kaplama kalınlığını azaltarak, rijit yol yapım maliyeti de düşürülebilir.

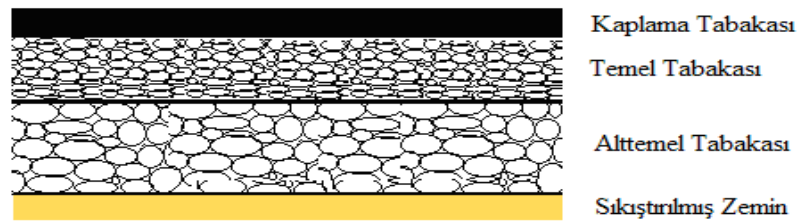
Bu çalışmamızın amacı mevcut olan beton yol tiplerine kıyasla daha hafif, sünek ve dayanımı yüksek yeni beton yol tipleri üretmektir. Günümüzde üretilen betonların yapım maliyetini düşürerek daha ekonomik bir beton üretmektir. Mevcutta bulunan betonların üretiminde iri agregalı bazalt kullanılmakta ve toz(pudra) halindeki bazalt ise atık olarak değerlendirilmekte bu çalışmamızda atık durumundaki toz bazaltı kullanarak atık durumundaki malzemenin değerlendirilmesi, malzeme maliyetinin azaltılması amaçlanmıştır. Günümüzde üretilen beton yollar ve asfalt yollar sürekli veya daha az

sürede bakım ve onarım gerektirmektedir bu çalışmamızda da bu beton tiplerine nazaran daha uzun süre içinde bakım ve onarım gerektiren beton yolları üretmek ve bu şekilde bakım ve onarım maliyeti de azaltmak amaçlanmıştır.

## 1.1. Yol Üstyapı Tipleri

### 1.1.1. Esnek üstyapılar

Esnek üstyapı inşası alt temel, temel ve kaplama tabakasından oluşur. Yüksek standartlı bir yolda inşa edilen kaplama tabakası, aşınma ve binderden oluşan iki tabaka şeklinde yapılır. Düşük standartlı yollarda inşa edilen kaplama tabakası, tek kat ve ya çift kat yüzeysel kaplama şeklinde inşa edilir. Günlük ağır taşıt trafiği 500'den az olan yollarda düşük standartlı kaplamalar inşa edilirler. Genel olarak toplam eşdeğer standart dingil yükü sayısı 40000'den düşük ise stabilize kaplama inşa edilir. Toplam eşdeğer standart dingil yükü sayısı 40000–100000 arası ise stabilize ve ya tek kat sathi kaplama yapılır. Toplam eşdeğer standart dingil yükü sayısı, 100000–500000 arası tek kat sathi kaplama, 500000–2000000 arası çift kat sathi kaplama, 2000000'dan fazla ise bitümlü sıcak karışım (BSK) kaplama yapılmaktadır (Tunç, 2007). Esnek kaplama tabakaları Şekil 1.1'de görülmektedir.



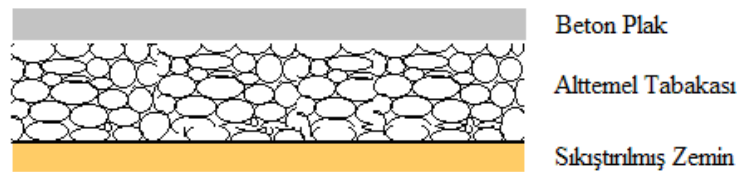
Şekil 1.1. Esnek kaplama tabakaları (Bakış, 2015).

Karayolları Esnek Üst Yapılar Projelendirme Rehberinde kum-çakıl alttemel tabakasının minimum kalınlığının 20 cm, kırmataş alttemel tabakasının minimum kalınlığının 15 cm, minimum granüler ve plent-miks temel kalınlığının 15 cm, çimento bağlayıcı granüler temel kalınlığının 20 cm ve sıcak karışım bitümlü temel kalınlığının ise 8 cm olması gerektiği belirtilmiştir (Güngör ve Sağlık, 2008).

### 1.1.2. Rijit üstyapılar

Standart dingil yükü sayısı  $60-75 \times 10^6$ 'dan yüksek olan veya yolun trafiğe açıldığında tek yöndeki günlük ticari taşıt sayısının 5000'den fazla olması halinde, yol kaplamasının beton yol kaplaması olarak yapılması öngörülmektedir. Havaalanlarında yıllık 5000'den fazla kalkış yapan uçuş pistlerinin beton kaplama olarak yapılması da zorunlu hale getirilmiştir (Tunç, 2007).

Rijit üstyapı; sıkıştırılmış zemin üzerine yapılan bir alt temel ve bu alttemelin üzerine inşa edilen beton kaplama tabakasından oluşan bir üstyapıdır. Beton kaplamaların inşasında, derzlerin projesine uygun inşa edilmemesi sonucu sürüş konforunu azaltabileceği belirtilmektedir (Macit, 2009). Rijit üstyapılarda alttemel tabakasının en önemli görevi, beton kaplamalardaki pompajı önlemektir. Rijit üstyapı tabakaları Şekil 1.2'de görülmektedir.



Şekil 1.2. Rijit üstyapı tabakaları (Bakış, 2015).

Tez çalışmasında oluşturulan bazalt pudra betonların, basınç dayanımlarının yüksek olmasından dolayı tek bir tabaka halinde inşa edilmeleri mümkündür. Beton kaplamaların asfalt kaplamalara kıyasla en belirgin farkı, yüksek basınç dayanımından dolayı çevre şartlarından daha az etkilenmeleridir.

### 1.2. Reaktif Pudra Beton

Beton; agrega, çimento ve suyun karıştırılmasıyla elde edilen, zamanla sertleşerek dayanım kazanan bir yapı malzemesidir (Akman Pek ve Akman, 2012; Dal vd., 2013). Daha önce yapılan birçok çalışma sonucu, çimentolu beton malzemeler ile yüksek dayanım kazanılması hedeflenmiştir. Bu çalışmalar sonucunda, yüksek dayanımlı beton, çok yüksek dayanımlı beton ve ultra yüksek dayanımlı beton şeklinde farklı tip dayanımlı betonlar oluşturulmuştur (Aitcin, 2000; Taşdemir vd., 2004). Betona lifler katılarak ısıtılmış kombine kürler uygulanarak ultra yüksek dayanımlı betonlar



üretilmiştir. Bu beton tiplerinden birisi reaktif pudra betondur. Pudra kelimesi, reaktif pudra beton içerisine katılan agregaların pudra şeklinde çok ince taneli boyuta sahip olduğunu ifade etmektedir. Reaktif kelimesi, çimentonun ilk hidratasyonundan sonra ısı ile işlemlenmiş kurler ile puzolanik aktivitenin yeniden tekrarlamasını ifade etmektedir (İpek, 2009). Reaktif pudra beton yüksek basınç ve eğilme dayanımına sahip, çimento, silis dumanı, agrega kumu veya tozu, lifli veya lifsiz, su ve süperakışkanlaştırıcılar ile oluşturulan ultra yüksek performanslı bir betondur (Bakış, 2015). Reaktif pudra betonun dayanımı, yüksek dayanımlı betona nazaran daha yüksektir. Reaktif pudra beton, düşük boşluklu olması nedeniyle geçirimsizliği düşük bir malzemedir. İçerisine katılan lifler ile sünek bir davranış sergiler (Dallaire, 1998). Reaktif pudra beton, yakın gelecekte kullanım alanı yaygınlaşacak bir malzemedir (Karabulut, 2006). Reaktif pudra beton, mikro yapı mühendisliği yaklaşımıyla özellikleri geliştirilmiş bir betondur (Reda, 1999).

Reaktif pudra betonda (RPB) kullanılan agrega kumu veya pudrası, normal betondaki kaba agreganın görevini üstlenmektedir. RPB’da kullanılan çimento normal betondaki ince agreganın görevini üstlenir. RPB’da kullanılan silis dumanı ise normal betondaki çimentonun görevini üstlenmektedir (Topçu ve Karakurt, 2005). Reaktif pudra betonun dayanımı yüksek olduğundan, normal betonlara nazaran yapı kesiti daha düşük tasarlanabildiğinden dolayı, yapı yükünün azaltılması ve yüksek dayanımın gerektiği yerlerde tercih edilmektedir (Sadrekarimi, 2004; Grassl, 2010).

Reaktif pudra beton üretiminde, beton işlenebilirliğinin artması bakımından, agrega gradasyonu olarak kesikli gradasyon önerilmektedir. Reaktif pudra beton dizaynlarında agrega hacmi %30-50, maksimum dane boyutu 1–3 mm’dir (Collepari, 1997; Ünsal ve Şen, 2008; Yazıcı, 2008). Reaktif pudra betonda çimentoyla kaynaşmayı sağlamak amacıyla 0,2–0,6 mm arası dane boyutlu agregalar kullanılmaktadır (Richard and Cheyrezy, 1995). Agreganın hacminin %48 olduğu reaktif pudra beton karışımlarında, betonun basınç ve eğilme dayanımının daha yüksek çıktığı belirtilmektedir (Yalçınkaya ve Yazıcı, 2011). Reaktif pudra beton karışımında hacimce %0,5–2 arası çelik lif kullanılabilir (Yiğiter, 2002). Zheng, (2013) çalışmasında hacim içeriği %2 olan çelik liflerin reaktif pudra betonda kullanılmasıyla, dayanımının arttığı belirtmiştir. Reaktif pudra beton içerisine çelik lif katılabildiği gibi, cam ve polipropilen gibi farklı tip lifler de kullanılabilir (Çivici, 2006). Ancak, Polipropilen lifle oluşturulmuş betonda yüksek sıcaklıktan dolayı liflerin eriyerek özelliğini kaybetmesi sonucu dayanımın düştüğü de daha önce yapılan çalışmalarda belirtilmiştir (Song, 2005;

Suhaendi, 2006). Bu nedenle beton üretiminde kullanılacak liflerin çelik malzemeden imal edilmesi gerekmektedir.

TS EN 197-1 standartlarında, CEM I-II 42,5-52,5 R türü çimentolar Reaktif Pudra Beton üretiminde kullanılabilir (Bakış, 2015). Silikonlu metal alaşımların oluşturulması sırasında meydana gelen gazın, hızlı bir şekilde soğutulup yoğunlaştırılması neticesinde üretilen ve %85–98 arasında silis bulunduran, amorf yapılı, çok ince katı parçacıklardan oluşan malzemeye silis dumanı denir (Tohumcu ve Bingöl, 2013). Reaktif pudra betonda kullanılan silis dumanı, agrega ve çimento arasındaki boşlukları doldurarak daha homojen bir mikro yapı yapının oluşumuna katkı sağlar (Dallaire, 1998; Taşdemir vd., 2005; Karabulut, 2006; Bakış, 2015). Reaktif pudra betonda silis dumanının kullanılması yoluyla, beton içerisindeki mikro boşlukların azaltılması amaçlanmıştır (Roux, 1996). Uygulamalarda genel olarak silis dumanı/çimento oranı 0,25 alınmaktadır. Bu oranda betonun en yüksek dayanımı verdiği belirtilmektedir (Richard and Cheyrezy, 1994, 1995; Chan and Chu, 2004; Talebinejad, 2004; İpek, 2009). Reaktif pudra beton üretiminde, silis dumanı ile birlikte, çok yüksek dayanımlı beton üretmek için, süperakışkanlaştırıcı denilen katkı maddeleri kullanılmaktadır (Duyar, 2006; Karabulut, 2006; Güneşli, 2008). Reaktif Pudra Betonların karışım oranları için herhangi bir standart bulunmamaktadır. Bu nedenle farklı karışım yöntemleri kullanılmıştır. Bu yöntemlerden birisi, Mooney'in süspansiyon viskozite modelinden oluşturulmuştur (Larrard and Sedran, 1994; İpek, 2009). Mooney'in süspansiyon viskozite modelinden yararlanarak oluşturulan karışım tasarımlarından genel olarak kullanılan karışımlar Çizelge 1.1'de belirtilmektedir.

**Çizelge 1.1.** Reaktif pudra betonların karışımın oranları (Richard and Cheyrezy, 1995).

Malzemeler	RPB200				RPB800	
	Lifsiz		Lifli		Silis Agregalar	Çelik Agregalar
Portland Çimentosu	1	1	1	1	1	1
Silis Dumanı	0,25	0,23	0,25	0,23	0,23	0,23
Kum (0,15–0,6 mm)	1,1	1,1	1,1	1,1	0,5	-
Kırılmış Kuvars ( $d_{50} = 0,01$ mm)	-	0,39	-	0,39	0,39	0,39
Süper akışkanlaştırıcı	0,016	0,019	0,016	0,019	0,019	0,019
Çelik Tel (L=12 mm)	-	-	0,175	0,175	-	-
Çelik Tel (L=3 mm)	-	-	-	-	0,63	0,63
Çelik agregalar ( $< 0,8$ mm)	-	-	-	-	-	1,49
Su	0,15	0,17	0,17	0,19	0,19	0,19

Çizelge 1.1’ de reaktif pudra beton karışımında su/bağlayıcı oranının oldukça düşük olduğu görülmektedir. Çimento, silis dumanı ve pudra dane boyutu birbirine yakın olduğundan, hidrate olamayan çimento taneleri reaktif pudra beton karışımı içerisinde agrega olarak rol oynar (İpek, 2009).

## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Balendran (2002) çalışmasında, lifsiz ve çelik lifli olmak üzere iki tip beton kullanılmıştır. Çalışmada, beton karışımındaki çelik lifin, beton dayanımını artırdığı belirtilmiştir. Çalışma sonucunda, çelik liflerin betonun basınç dayanımını çok az etkilemesine rağmen, eğilme dayanımını önemli ölçüde artırdığı belirtilmiştir.

Çivici (2006) çalışmasında, beton karışımı içerisine katılan çelik liflerin betonun sünek bir yapı davranışı sergilemesine yol açtığı belirtilmiştir.

Song ve Hwang (2004) çalışmasında, yüksek dayanımlı betonların gevrek bir yapıya sahip olduğu, beton içerisine çelik lif katarak betonun bu kırılgen yapısının değişerek sünek bir davranış sergilediği belirtilmiştir.

Khaloo ve Afshari (2005) çalışmasında, daha uzun ve hacimsel olarak daha fazla çelik lif içeren beton numunelerin daha fazla enerji soğurduğu belirtilmiştir.

Chan ve Chu (2004) çalışmasında, reaktif pudra beton karışımında kullanılan optimum silis dumanı içeriğinin %20 ve %30 arasında olduğu belirtilmiştir.

Talebinejad (2004) çalışmalarında, reaktif pudra beton üretiminde en iyi sonucu veren etkenlerden, karışımın birim ağırlığının 2400 kg/m<sup>3</sup>, silis dumanı içeriğinin %25, kür tipinin, 7 gün 20°C su kürü + 2 gün 90°C su banyosu kürü + 2 gün 200°C'lik kuru hava kürü olduğu belirtilmiştir.

Altoubat (2006) çalışmasında, betona çelik lif eklenmesinin yol kaplama betonunun eğilme dayanımını artırdığı belirtilmiştir.

İpek (2009) çalışmasında, reaktif pudra betona çelik lif katarak, farklı tip ve sürelerde kür uygulamalarıyla beton dayanımı arasındaki ilişki incelenmiştir. Çalışma sonucunda en uygun kür işleminin, 3 gün 90°C buhar kürü + 12 saat 300°C etüv kürü olduğu belirtilmiştir.

Yazıcı (2009) çalışmalarında, farklı tip kürlerin reaktif pudra betonun mekanik dayanımına etkisi araştırılmıştır. Çalışma sonucunda, ısıtılmış kürlerin beton dayanımını artırdığı belirtilmiştir.

Yiğiter (2012) çalışmalarında, reaktif pudra beton üretiminde standart su kürü yanında, buhar kürü gibi ısıtılmış kürler uygulanmıştır. Çalışma sonucunda, ısıtılmış kürlerin beton dayanımında önemli bir faktör olduğu belirtilmiştir.

Tam (2012) çalışmasında, reaktif pudra beton üretiminde, su/bağlayıcı miktarının azalmasıyla birlikte, beton dayanımının arttığı ve su geçirgenliğinin azaldığı belirtilmiştir.

Na-Hyun (2012) çalışmasında, reaktif pudra betonun, terör saldırıları, kaza sonucu oluşan darbe ve patlamalara karşı dayanıklılığı incelenmiştir. Çalışma sonucunda reaktif pudra betonun, normal dayanımlı betonlara kıyasla daha iyi bir direnç gösterdiği belirtilmiştir.

Ramyar (2013) çalışmasında, reaktif pudra betonun su/bağlayıcı oranının çok düşük olması nedeniyle, betonun alkali silika reaksiyonunu (ASR) azalttığı belirtilmiştir.

Bakis ve Hattatoglu (2016) çalışmasında, kaplama kalınlık ve maliyet karşılaştırması için, bitümlü sıcak karışım (BSK) ve sanayi atık lifli reaktif pudra beton (SANLİF-RPB) kaplama olmak üzere 2 çeşit kaplama göz önüne alınmıştır. SANLİF-RPB'un mekanik dayanımları deneysel olarak elde edilmiştir. Mekanik dayanım sonuçlarına göre, SANLİF-RPB yol kaplama kalınlıkları ve kaplama maliyet miktarları hesaplanmıştır. Çalışmada; 8,2 ton eşdeğer tek dingil yükü tekerrür sayısı ( $W_{8,2}$ )  $10 \times 10^6$  olan yol kaplamasında, SANLİF-RPB kaplama kalınlığı 14,73 cm ve BSK asfalt kaplama kalınlığı 19 cm olarak hesaplanmıştır. Çalışma sonucunda, 1 km yol uzunluğu için, SANLİF-RPB kaplama maliyetinin, BSK kaplama maliyetinden %20,99 daha ekonomik olduğu belirtilmiştir.

Bakis (2016) çalışmasında, beton yol kaplaması için C30/37 sınıfı, kalker agregalı normal dayanımlı referans betonu, C30/37 sınıfı karışım miktarlarında hazırlanmış Ahlat taşı agregalı referans betonu, referans betonları ile eşit ölçülere sahip ocaktan kesilerek alınmış doğal Ahlat taşı ve 7 tip Ahlat taşı beton (ATB) olmak üzere toplam 10 tip farklı numune üretilmiştir. 28 günlük su küründen sonra tüm numunelere basınç deneyi yapılmıştır. Çalışma sonucunda; 28 günlük standart su kürü sonrası, C30/37 sınıfı kalker agregalı referans betonun basınç dayanımı 37,93 MPa, ATB maksimum basınç dayanımı 68,83 MPa bulunmuştur. Çalışma sonucunda, Ahlat taşı agregasından yüksek dayanımlı beton elde edilebileceği belirtilmiştir.

Bakis vd. (2017) çalışmasında, beton yol kaplama kalınlık ve maliyet hesaplamaları için, C30/37 sınıfı kalker agregalı normal dayanımlı şahit numune, kuvars agregalı çelik lifli reaktif pudra beton ve kalker agregalı çelik lifsiz reaktif pudra beton olmak üzere üç tip beton üretilmiştir. Çalışmada üretilen betonların dayanım sonuçlarına göre, kaplama kalınlıkları ve maliyet hesaplamaları yapılmıştır. Çalışmada;

8,2 ton eşdeğer tek dingil yükü tekerrür sayısı ( $W_{8,2}$ )  $10 \times 10^6$  olan beton yol kaplamasında, çelik lif katılmayan reaktif pudra beton yol kaplama kalınlığı 17,15 cm, çelik lif katılan reaktif pudra beton yol kaplama kalınlığı 17,17 cm ve şahit numune beton kaplama kalınlığı 23,04 cm olarak elde edilmiştir. 1 km uzunluktaki beton yol kaplaması için, lifsiz reaktif pudra beton kaplama maliyetinin, şahit numune beton yol kaplama maliyetinden %19,51 daha ekonomik olduğu belirtilmiştir.

Bakis (2018) çalışmasında, beton yol kaplama inşasında C30/37 sınıfı kalker agregalı şahit numune yol betonu yerine, atık çelik lif içerikli pomza agregalı reaktif pudra betonun (P-RPB) kullanılabilirliği araştırılmıştır. Çalışmada şahit numune yol betonuna, 28 gün 20°C su kürü uygulanmıştır. P-RPB' a ise, 28 gün 20°C su kürü ve kombine kür olmak üzere 2 farklı kür uygulanmıştır. Çalışma sonucunda; su kürü sonrası, şahit numune yol betonu basınç dayanımı 41,8 MPa, eğilme dayanımı 5,0 MPa olarak test edilmiştir. P-RPB'un 28 gün 20°C su kürü sonrası basınç dayanımı 71,2 MPa, eğilme dayanımı 8,2 MPa olarak test edilmiştir. Kombine kür sonrası P-RPB'un basınç dayanımı 105,2 MPa, eğilme dayanımı 12,5 MPa olarak test edilmiştir. Çalışma sonucunda, P-RPB'un beton yol kaplaması olarak kullanılabilmesi belirtilmiştir.

Daha önceki çalışmalarda, tez çalışmasında izlenen yöntemle, iri bazalt agregası kullanmadan, bazalt pudrasının beton içerisine katılmasıyla ilgili herhangi bir literatüre rastlanmamıştır. Bu tez çalışması literatürde bir ilk olup özgün bir çalışmadır.

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu tez çalışmasında bazalt pudra beton incelenmiş ve bu amaçla referans betonlar da olmak üzere 4 farklı beton tipi üretilmiştir. Çalışmanın devamında da yapılan deneyler ve kullanılan eşitliklerden bahsedilmiştir.

4 tip farklı beton üretilmiştir bunlar:

- Bazalt agregalı lifsiz referans beton (BRB)
- Bazalt agregalı lifli referans beton (BRLB)
- Bazalt agregalı lifsiz pudra beton (BPB)
- Bazalt agregalı lifli pudra beton (BLPB)

BRB ve BRLB referans betonlarında, C30/37 normal dayanımlı beton sınıfına uygun olarak 0–4 mm, 4–8 mm ve 8–16 mm bazalt agregaları kullanılmıştır. Bazalt agregalı lifsiz pudra beton (BPB) ve lifli pudra beton (BLPB) üretimlerinde ise 0–1,0 mm arası kum ve toz (pudra) halinde bazalt agregaları kullanılmıştır. BPB ve BLPB karışımlarında hiçbir şekilde iri bazalt agregası kullanılmamıştır. Her bir beton tipi 3 farklı kür uygulanmıştır. Her beton tipinden üçer adet olmak üzere basınç deneyleri için 36 adet, su emme deneyi için 12 adet olmak üzere toplam 48 adet numune oluşturulmuştur. Bazalt kum ve pudra atıklarının inşaat sektöründe kullanımı sınırlıdır. Bu çalışma ile bazalt kum ve pudra atıklarının inşaat sektöründe kullanımının yaygınlaştırılması için katkı sağlaması amaçlanmıştır.

#### 3.1. Bazalt agregalı lifsiz referans beton (BRB)

Geleneksel olarak beton yol kaplama inşasında, minimum kırma taş kalker agregalı C30/37 sınıfı normal dayanımlı beton kullanılmaktadır (Bakış, 2015). Bu nedenle tez çalışmasında, bazalt agregalı lifsiz pudra beton (BPB) ile karşılaştırmak amacıyla referans beton olarak, normal dayanımlı beton sınıfına giren, bazalt agregalı C30/37 sınıfı lifsiz referans betonu (BRB) üretilmiştir.

##### 3.1.1. Bazalt agregalı lifsiz referans beton (BRB) karışım malzemeleri

Bazalt agregalı lifsiz referans beton (BRB) karışımı içerisinde aşağıdaki malzemeler kullanılmaktadır:

- Portland Çimentosu
- Bazalt
- Su

### 3.1.1.1. Portland çimentosu

Tez çalışmasında, TS EN 197-1 standartlarına uygun, CEM I 42,5 R türü çimento kullanılmıştır. Portland çimentosu, Limak Çimento San. ve Tic. A.Ş'den temin edilmiştir. Portland çimentosunun görünümü Şekil 3.1' de verilmiştir.



**Şekil 3.1.** CEM I 42,5 R çimento görünümü

CEM I 42,5 R çimentosunun kimyasal özellikleri Çizelge 3.1'de verilmiştir.

**Çizelge 3.1.** CEM I 42,5 R çimento kimyasal özellikleri (Limak, 2019).

Kimyasal Özellikler, %	
SiO <sub>2</sub>	19,28
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,10
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,99
CaO	63,14
MgO	1,96
SO <sub>3</sub>	2,81
Kızdırma Kaybı	3,22
K <sub>2</sub> O	0,71
Na <sub>2</sub> O	0,18
Cl	0,01
Çözünmeyen Kalıntı	0,61



CEM I 42,5 R fiziksel ve mekanik özellikleri ise Çizelge 3.2' de verilmiştir.

**Çizelge 3.2.** CEM I 42,5 R çimento fiziksel ve mekanik özellikleri (Limak, 2019).

Fiziksel ve Mekanik Özellikler	
Özgül Ağırlık (g/cm <sup>3</sup> )	3,13
Özgül Yüzey (cm <sup>2</sup> /g)	3067
Priz Başı (dakika)	153
Priz Sonu (dakika)	206
Hacim Genleşmesi (mm)	0,7
Basınç Dayanımı 2 Gün (MPa)	25,5
Basınç Dayanımı 7 Gün (MPa)	38,9
Basınç Dayanımı 28 Gün (MPa)	52,2

### 3.1.1.2. Bazalt

Bazalt magma akıntılarının soğuyup büzülmesiyle oluşan püskürük türü kayalardandır. Siyah renkli ve çok sert bir malzemedir. Ülkemizde bol miktarda bazalt rezervine birçok şehirde rastlamak mümkündür. Afyon, Kars, Ardahan, Elazığ, Eskişehir, Gaziantep, Şanlıurfa, Van, Kayseri, Diyarbakır, Konya, Nevşehir ve Doğu Anadolu'da bol miktarda bazalt rezervi bulunmaktadır (Swink, 2002; Yılmaz, 2015; Ndepete, 2017; Aslan, 2018). Yer kabuğunda %33'e varan değerleriyle en bol bulunan kayalardır. Magnezyum, kalsiyum, sodyum, potasyum, silikon ve demir oksit içeriğine sahip olan bazaltların kimyasal içerikleri bulunduğu coğrafyaya bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Bazaltın kimyasal içeriği Çizelge 3.3'de gösterilmiştir.

**Çizelge 3.3.** Bazaltın kimyasal içeriği (Yılmaz, 2015).

Bileşen	Ağırlık %'si
SiO <sub>2</sub>	45,0-50,0
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,0-18,0
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,0-5,0
FeO	5,0-9,0
CaO	7,0-18,0
MgO	4,0-9,0
Na <sub>2</sub> O	3,0-5,0
K <sub>2</sub> O	0,5-2,5
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,1-1,0
H <sub>2</sub> O	0,0-0,5
TiO <sub>2</sub>	0,0-3,0
MnO	0,0-0,20

Volkanik bazaltlar ocaklardan kırmataş olarak çıkarılır. Kırmataş olarak yol yarmalarında ve duvar yapımında kullanılırlar. Mıncır boyutunda kırılarak barajlarda dolgu malzemesi olarak ve çimento harcı olarak kullanılırlar. İzolasyon amaçlı ve kıyı koruma yapılarında bloklar halinde kullanılırlar. Ayrıca yoğunlukları sebebiyle yapı taşı olarak kullanılmaları uygundur (Akıllı, 2012; Erçin ve Kadayıfçı, 2013). Bazaltın fiziksel ve mekanik özellikleri Çizelge 3.4’de gösterilmiştir.

**Çizelge 3.4.** Bazaltın fiziksel ve mekanik özellikleri (Aslan ve Bakis, 2020).

Fiziksel ve Mekanik Özellikler	Değer
Kaba Agregada Hacim Özgöl Ağırlığı, g/cm <sup>3</sup>	2,746
Kaba Agregada Zahirî Özgöl Ağırlığı, g/cm <sup>3</sup>	2,854
Kaba Agregada Su Absorpsiyonu, %	1,39
İnce Agregada Hacim Özgöl Ağırlığı, g/cm <sup>3</sup>	2,752
İnce Agregada Zahirî Özgöl Ağırlığı, g/cm <sup>3</sup>	2,876
İnce Agregada Su Absorpsiyonu, %	1,56
Filler Agregada Zahirî Özgöl Ağırlığı, g/cm <sup>3</sup>	2,822
Los Angeles Aşınma Kaybı, %	14

Tez çalışmasında; bazalt agregalı lifsiz referans beton (BRB) karışımında kullanılan bazalt agregaları 0–4 mm, 4–8 mm ve 8–16 mm olmak üzere 3 farklı dane çapı aralığında alınmıştır.

0–4 mm dane çapına sahip bazalt agregaları Şekil 3.2’de görülmektedir.



**Şekil 3.2.** Bazalt (0–4 mm)

4–8 mm dane çapına sahip bazalt agregaları Şekil 3.3’ de görülmektedir.



**Şekil 3.3.** Bazalt (4–8 mm)

8–16 mm dane çapına sahip bazalt agregaları Şekil 3.4’ de görülmektedir.



**Şekil 3.4.** Bazalt (8–16 mm)

### **3.1.1.3. Su**

Tez çalışmasında üretilen tüm betonlarda karışım suyu olarak, içilebilir Őehir Őebeke suyu kullanılmıştır.

### 3.1.2. Bazalt agregalı lifsiz referans beton (BRB) karışım miktarları

Bazalt agregalı lifsiz referans beton (BRB) karışım miktarları Çizelge 3.5’de gösterilmiştir.

**Çizelge 3.5. Bazalt agregalı lifsiz referans beton (BRB) karışım miktarları**

Malzemeler	Miktar (kg)
Portland Çimentosu	423
Bazalt (0–4 mm)	821
Bazalt (4–8 mm)	391
Bazalt (8–16 mm)	571
Su	188
Toplam	2400

Kalıplara dökülmüş bazalt agregalı lifsiz referans beton (BRP) numuneleri Şekil 3.5’de gösterilmiştir.



**Şekil 3.5. Kalıplara dökülmüş bazalt agregalı lifsiz referans beton (BRP) numuneleri**

### 3.2. Bazalt agregalı lifli referans beton (BRLB)

Tez çalışmasında, bazalt agregalı lifli pudra beton (BLPB) ile karşılaştırmak amacıyla ikinci bir referans beton olarak, normal dayanımlı beton sınıfına giren, bazalt agregalı C30/37 sınıfı lifli referans betonu (BRLB) üretilmiştir. Tez çalışmasında; bazalt agregalı lifli referans beton (BRLB) karışımında kullanılan bazalt agregaları 0–4 mm, 4–8 mm ve 8–16 mm olmak üzere 3 farklı dane çapı aralığında alınmıştır. Bu ikinci

referans betonu, içerisine çelik lifler katıldığı için aynı zamanda yeni bir beton tipidir. Literatürde bu tip bir beton üretimine de rastlanmamıştır. Bu beton tipi tez çalışması için hem bir referans betonu hem de C30/37 sınıfında hazırlanan yeni bir lifli beton tipidir. Tez çalışmasında üretilen bu yeni tip betonun ismi BRLB olarak kısaltılmıştır.

### 3.2.1. Bazalt agregalı lifli referans beton (BRLB) karışım malzemeleri

Bazalt agregalı lifli referans beton (BRLB) karışımı içerisinde aşağıdaki malzemeler kullanılmaktadır:

- Portland Çimentosu (Bölüm 3.1.1' de açıklanmıştır),
- Bazalt (Bölüm 3.1.1' de açıklanmıştır),
- Su (Bölüm 3.1.1' de açıklanmıştır),
- Çelik Lif

#### 3.2.1.1. Çelik Lif

Bazalt agregalı lifli referans beton (BRLB) üretiminde çelik lifler bulunmaktadır. Aynı çelik lifler Bölüm 3.4.2' de belirtilen bazalt agregalı lifli pudra beton (BLPB) üretiminde de kullanılmıştır. Çelik lif görünümü Şekil 3.6' da verilmiştir.



**Şekil 3.6.** Çelik lif görünümü

BRLB ve BLPB üretimlerinde kullanılan çelik lifler, Atlas Bir Yapı ve Müh. A.Ş.'den temin edilmiştir. Çelik lifler 35 mm uzunluğunda 0,70 mm çapındadır. Üretici firma tarafından verilen çelik liflere ait fiziksel ve mekaniksel özellikler Çizelge 3.6' da görülmektedir.

**Çizelge 3.6.** BRLB ve BLPB üretiminde kullanılan çelik lif teknik özellikleri (Atlas Bir Yapı ve Müh. A.Ş., 2019).

Lif Tipi	Çap (mm)	Boy (mm)	Narinlik	Çekme Dayanımı (MPa)	Özgül Ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> )
Çelik	0,70	35	50	1400	7,80
Tel					

### 3.2.2. Bazalt agregalı lifli referans beton (BRLB) karışım miktarları

Bazalt agregalı lifli referans beton (BRLB) karışım miktarları Çizelge 3.7’de gösterilmiştir.

**Çizelge 3.7.** Bazalt agregalı lifli referans beton (BRLB) karışım miktarları

Malzemeler	Miktar (kg)
Portland Çimentosu	423
Bazalt (0–4 mm)	758
Bazalt (4–8 mm)	364
Bazalt (8–16 mm)	530
Çelik lif (D=0,70 mm, L=35 mm)	137
Su	188
<b>Toplam</b>	<b>2400</b>

Bazalt agregalı lifli referans betonun (BRLB) mikser içerisindeki görünümü Şekil 3.7’de gösterilmiştir.



**Şekil 3.7.** Bazalt agregalı lifli referans betonun (BRLB) mikser içerisindeki görünümü

Mikserde yaklaşık 15 dakika karıştırılan numuneler küp kalıplara dökülmek üzere Şekil 3.8’de görüldüğü gibi hazırlanmıştır.



**Şekil 3.8.** Bazalt agregalı lifli referans betonun (BRLB) karıştırma sonrası görünümü

Mikserde karıştırma sonrası işlenebilirliği sağlanan numuneler Şekil 3.9’da görüldüğü gibi, plastik küp kalıplarına yerleştirilmiş ve şişleme yöntemi ile sıkıştırılmıştır.



**Şekil 3.9.** Bazalt agregalı lifli referans betonun (BRLB) kalıplara dökülmesi ve şişlenerek sıkıştırılması

Bazalt agregalı lifli referans betonların (BRLB) kalıplara yerleştirme sonrası görünümü Şekil 3.10’da gösterilmiştir.



**Şekil 3.10.** Bazalt agregalı lifli referans betonların (BRLB) kalıplara yerleştirme sonrası görünümü

### 3.3. Bazalt Agregalı Lifsiz Pudra Beton (BPB)

Tez çalışmasında üretilen BPB yeni bir beton tipi olup, literatürde bu tip bir beton üretimine rastlanmamıştır. Bazalt agregalı lifsiz pudra beton (BPB) üretimlerinde 0-1,0 mm arası kum ve toz (pudra) halinde bazalt agregaları kullanılmıştır. BPB karışımlarında hiçbir şekilde iri bazalt agregası kullanılmamıştır. Tez çalışmasında üretilen bu yeni tip betonun ismi BPB olarak kısaltılmıştır.

#### 3.3.1. Bazalt agregalı lifsiz pudra beton (BPB) karışım malzemeleri

Bazalt agregalı lifsiz pudra beton (BPB) karışımı içerisinde; Portland çimentosu, su, bazalt tozu, silis dumanı ve süperakışkanlaştırıcı katkı maddesi kullanılmaktadır.

- Portland Çimentosu,
- Su,
- Bazalt tozu,
- Silis dumanı,
- Süperakışkanlaştırıcı.



Portland çimentosu Bölüm 3.1.1.1’de, karışım suyu Bölüm 3.1.1.3’de açıklanmıştır. Bu kısımda bazalt tozu, silis dumanı ve süperakışkanlaştırıcı katkı maddesi hakkında bilgi verilmiştir.

### **3.3.1.1. Bazalt tozu**

Bazalt ile ilgili fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerle ilgili bilgiler Bölüm 3.1.1.2’de verilmiştir. Bazalt agregalı lifsiz pudra beton (BPB) karışımında kullanılan bazalt tozu görünümü Şekil 3.11’de verilmiştir. Bazalt tozu Adabağ Yapı A.Ş.’den temin edilmiştir.



**Şekil 3.11.** Bazalt tozu görünümü

Bazalt agregalı lifsiz pudra beton (BPB) üretimlerinde 0–1,0 mm arası bazalt tozu kullanılmıştır. BPB karışımlarında iri bazalt agregası hiç kullanılmamıştır.

### **3.3.1.2. Silis dumanı**

Beton karışımında kullanılan silis dumanı görünümü Şekil 3.12’de verilmiştir. Silis dumanı İksa Beton ve Yapı Kimyasalları San. Tic. A.Ş.’den temin edilmiştir.



**Şekil 3.12.** Silis dumanı görünümü

Bazalt agregalı lifsiz pudra beton (BPB) üretimlerinde kullanılan silis dumanının fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 3.8’de görülmektedir.

**Çizelge 3.8.** Silis dumanı fiziksel ve kimyasal özellikleri (İksa, 2019).

Özellik	Değer
SiO <sub>2</sub> , %	94,17
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , %	0,43
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , %	0,70
CaO, %	0,67
MgO, %	1,23
SO <sub>3</sub> , %	0,57
Kızdırma kaybı, %	0,77
Özgül ağırlık, g/cm <sup>3</sup>	2,250
Özgül yüzey, cm <sup>2</sup> /g	200000

### 3.3.1.3. Süperakışkanlaştırıcı

Süper akışkanlaştırıcı olarak BASF Türk Kimya Sanayi ve Tic. Ltd. Şti.’ den temin edilen Master Glenium-128 kullanılmıştır. Süperakışkanlaştırıcı görünümü Şekil 3.13’ de verilmiştir.



**Şekil 3.13.** Süperakışkanlaştırıcı görünümü

Master Glenium-128 süperakışkanlaştırıcı özellikleri Çizelge 3.9’ da verilmiştir.

**Çizelge 3.9.** Süperakışkanlaştırıcı özellikleri (BASF 2019).

Özellik	Değer
Malzemenin Yapısı	Polikarboksilik Eter Esaslı
Görünüm	Sıvı- Kahverengi
Özgül Ağırlık (20 °C’de)	1,061–1,101 kg/lt
pH Değeri	Yaklaşık 6
Alkali İçeriği (%)	≤ 3.0
Klor İyon İçeriği (%)	≤ 0.1

### 3.3.2. Lifsiz Pudra Beton Karışım Oranları

#### 3.3.2.1. İdeal lifsiz reaktif pudra beton karışım oranları

Richard and Cheyrezy (1995)’ e göre Mooney modeli için RPB200 karışım oranları Çizelge 3.10’ da gösterilmiştir. Karışımındaki su/bağlayıcı oranı 0,12 ve silis dumanı/bağlayıcı oranı 0,25’ dir.

**Çizelge 3.10.** İdeal lifsiz RPB200 karışım oranları

Malzemeler	Karışım oranı
Portland çimentosu	1,00
Silis dumanı	0,25
Kuvars (0.15–0.6 mm)	1,10
Süper akışkanlaştırıcı	0,016
Su	0,15
Toplam	2,516

Çizelge 3.10’da, 1 birim cinsinden verilen karışım oranları göz önüne alınarak, hesaplamalarda kolaylık sağlaması amacıyla toplam karışım ağırlığı ile çimento miktarı arasındaki bağıntı Eşitlik (3.1)’ de görülmektedir (Richard ve Cheyrezy, 1995; Bakış, 2015):

$$1 \text{ m}^3 \text{ RPB Karışım Ağırlığı (kg)} = 2,516 \times 1 \text{ m}^3 \text{ RPB Çimento Miktarı (kg)} \quad (3.1)$$

1 m<sup>3</sup> RPB karışım ağırlığı 2400 kg ise bu karışımda kullanılacak çimento miktarı Eşitlik (3.1)’den 2400/2,516 oranı sonucu yaklaşık 954 kg bulunur. Çimento miktarı 954 kg bulunduktan sonra, karışım oranlarına göre karışımda kullanılacak diğer malzeme miktarları belirlenir (Richard ve Cheyrezy, 1995; Bakış, 2015).

Çizelge 3.10’da, 1 birim cinsinden verilen karışım oranları göz önüne alınarak, lifsiz RPB üretiminde silis dumanı çimento miktarının ağırlıkça %25’i, kum içeriği çimento miktarının ağırlıkça %110’u, süper akışkanlaştırıcı çimento miktarının ağırlıkça %1,6’sı, karıştırma suyu çimento miktarının ağırlıkça %15’i oranında hazırlanarak karışım oluşturulur (Richard ve Cheyrezy, 1995; Bakış, 2015).

Bu değerler ideal bir lifsiz RPB karışım oranını ortaya çıkarmak için kullanılmıştır. 1 m<sup>3</sup> karışımda kullanılacak 954 kg çimento miktarına göre ideal lifsiz RPB karışım miktarları Çizelge 3.11’ de gösterilmiştir. İdeal lifsiz RPB numunelerin su/bağlayıcı oranı 0,12 ve silis dumanı/çimento oranı 0,25’dir. Bağlayıcı olarak çimento ve silis dumanı miktarının toplamı göz önüne alınmıştır.

**Çizelge 3.11.** İdeal lifsiz RPB karışım miktarları

Malzemeler	Miktar (kg/m <sup>3</sup> )
Portland çimentosu	954
Silis Dumanı	239
Kuvars (0,15-0,6 mm)	1049
Süper akışkanlaştırıcı	15
Su	143
Toplam	2400

### 3.3.2.2. Bazalt agregalı lifsiz pudra beton (BPB)

Bazalt agregalı lifsiz pudra beton karışım oranları Çizelge 3.12' de verilmiştir. Bu çalışmada, su/bağlayıcı oranı işlenebilirliği kolaylaştırmak amacıyla 0.44 alınmıştır. Karışımın silis dumanı/bağlayıcı oranı 0.25'dir. Çizelge 3.12' deki su/bağlayıcı oranının hesaplanmasında, Portland çimentosu ve silis dumanı her ikisi birlikte bağlayıcı olarak değerlendirilmiştir. Bağlayıcı miktarı, beton karışımındaki toplam Portland çimentosu ve silis dumanı miktarıdır.

**Çizelge 3.12. Bazalt agregalı lifsiz pudra beton (BPB) karışım oranları**

Malzemeler	Karışım oranları
Portland çimentosu	1,00
Silis dumanı	0,25
Bazalt (0–1.0 mm)	1,10
Süper akışkanlaştırıcı	0,016
Su	0,55
Toplam	2,916

Çizelge 3.12'de, 1 birim cinsinden verilen karışım oranları göz önüne alınarak, hesaplamalarda kolaylık sağlaması amacıyla toplam karışım ağırlığı ile çimento miktarı arasındaki bağıntı Eşitlik (3.2)'de görülmektedir:

$$1 \text{ m}^3 \text{ Beton Karışım Ağırlığı (kg)} = 2,916 \times 1 \text{ m}^3 \text{ Betondaki Çimento Miktarı (kg)} \quad (3.2)$$

1 m<sup>3</sup> beton karışım ağırlığı 2400 kg ise bu karışımda kullanılacak çimento miktarı Eşitlik (3.2)'den 2400/2,916 oranı sonucu yaklaşık 823 kg bulunur. Çimento miktarı 823 kg bulunduktan sonra, karışım oranlarına göre karışımda kullanılacak diğer malzeme miktarları belirlenmiştir. Bazalt agregalı lifsiz pudra betonun su/bağlayıcı oranı 0,44 olacak şekilde yeni karışım miktarları oluşturulmuştur. Su/bağlayıcı oranı 0,44 olan lifsiz bazalt pudra betonu (BPB) üretiminde 1 birim cinsinden silis dumanı çimento miktarının ağırlıkça %25'i, kum içeriği çimento miktarının ağırlıkça %110'u, süper akışkanlaştırıcı çimento miktarının ağırlıkça %1,6'sı, karıştırma suyu çimento miktarının ağırlıkça %55'i oranında hazırlanarak karışım oluşturulmuştur. BPB beton karışım miktarları Çizelge 3.13' de görülmektedir.

**Çizelge 3.13.** Bazalt agregalı lifsiz pudra beton (BPB) karışım miktarları

Malzemeler	Miktar (kg)
Portland Çimentosu	823
Silis Dumanı	205
Bazalt (0–1,0 mm)	907
Süper akışkanlaştırıcı	13
Su	452
Toplam	2400

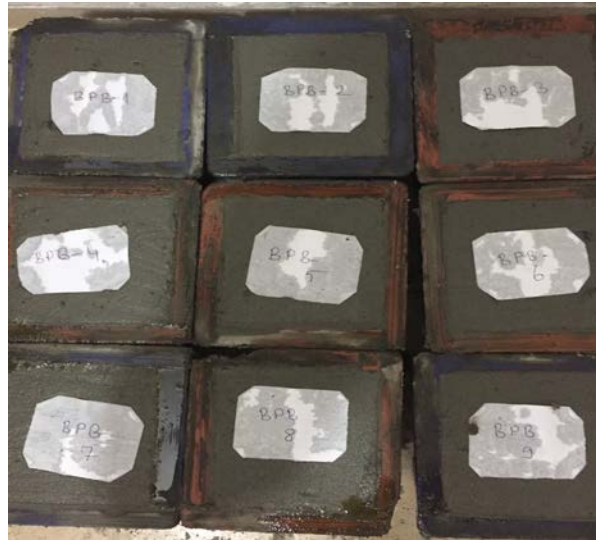
Çizelge 3.13’de görüldüğü gibi, BPB betonun su/bağlayıcı oranı 0,44 ve silis dumanı/çimento oranı 0,25’dir. Bazalt agregalı lifsiz pudra betonun (BPB) kalıp içerisindeki görünümü Şekil 3.14’de gösterilmiştir.



**Şekil 3.14.** Bazalt agregalı lifsiz pudra betonun (BPB) kalıp içerisindeki görünümü

Şekil 3.14’de görüldüğü gibi BPB betonun kalıp içerisine kendiliğinden yerleşebilme özelliğinin olduğu görülmüştür.

Bazalt agregalı lifsiz pudra betonun (BPB) kalıp içerisindeki tamamlanmış görünümü Şekil 3.15’de gösterilmiştir.



**Şekil 3.15.** Bazalt agregalı lifsiz pudra betonun (BPB) kalıp içerisindeki tamamlanmış görünümü

### **3.4. Bazalt Agregalı Lifli Pudra Beton (BLPB)**

Tez çalışmasında üretilen BLPB yeni bir beton tipi olup, literatürde bu tip bir beton üretimine rastlanmamıştır. Bazalt agregalı lifli pudra beton (BLPB) üretimlerinde 0–1,0 mm arası kum ve toz (pudra) halinde bazalt agregaları kullanılmıştır. BPB karışımlarında hiçbir şekilde iri bazalt agregası kullanılmamıştır. Tez çalışmasında üretilen bu yeni tip betonun ismi BLPB olarak kısaltılmıştır.

#### **3.4.1. Bazalt agregalı lifli pudra beton (BLPB) karışım malzemeleri**

Bazalt agregalı lifli pudra beton (BLPB) karışımı içerisinde; aşağıda görülen malzemeler kullanılmıştır:

- Portland Çimentosu,
- Su,
- Bazalt tozu,
- Silis dumanı,
- Süperakışkanlaştırıcı,
- Çelik lif.

Portland çimentosu Bölüm 3.1.1.1’de, karışım suyu Bölüm 3.1.1.3’de, bazalt tozu Bölüm 3.1.1.2 ve Bölüm 3.3.1.1’de, silis dumanı Bölüm 3.3.1.2’de, süperakışkanlaştırıcı Bölüm 3.3.1.3’de ve çelik lifler Bölüm 3.2.1.1’de açıklanmıştır.

### 3.4.2. Lifli Pudra Beton Karışım Oranları

#### 3.4.2.1. İdeal lifli RPB karışım oranları

Richard and Cheyrezy (1995)’ e göre Mooney modeli için RPB200 karışım oranları Çizelge 3.14’de gösterilmiştir. Karışımdaki su/bağlayıcı oranı 0,13 ve silis dumanı/bağlayıcı oranı 0,25’ dir.

**Çizelge 3.14.** İdeal lifli RPB200 karışım oranları (Richard ve Cheyrezy, 1995; Bakış, 2015).

Malzemeler	Karışım oranları
Portland çimentosu	1,00
Silis dumanı	0,25
Kuvars (0.15–0.6 mm)	1,10
Süper akışkanlaştırıcı	0,016
Çelik Tel (L = 12 mm)	0,175
Su	0,17
Toplam	2,711

Çizelge 3.14’de, 1 birim cinsinden verilen karışım oranları göz önüne alınarak, hesaplamalarda kolaylık sağlaması amacıyla toplam karışım ağırlığı ile çimento miktarı arasındaki bağıntı Eşitlik (3.3)’de görülmektedir.

$$1 \text{ m}^3 \text{ RPB Karışım Ağırlığı (kg)} = 2,711 \times 1 \text{ m}^3 \text{ RPB Çimento Miktarı (kg)} \quad (3.3)$$

1 m<sup>3</sup> RPB karışım ağırlığı 2400 kg ise bu karışımda kullanılacak çimento miktarı Eşitlik (3.3)’den 2400/2,711 oranı sonucu yaklaşık 885 kg bulunur. Çimento miktarı 885 kg bulunduktan sonra, karışım oranlarına göre karışımda kullanılacak diğer malzeme miktarları belirlenir (Richard ve Cheyrezy, 1995; Bakış, 2015).

Çizelge 3.14’de, 1 birim cinsinden verilen karışım oranları göz önüne alınarak, lifli RPB üretiminde silis dumanı çimento miktarının ağırlıkça %25’i, kum içeriği çimento miktarının ağırlıkça %110’u, süper akışkanlaştırıcı çimento miktarının ağırlıkça



%1,6'sı, karıştırma suyu çimento miktarının ağırlıkça %17'i ve çelik lifler çimento miktarının ağırlıkça %17,5'u oranında hazırlanarak karışım oluşturulur (Richard ve Cheyrezy, 1995; Bakış, 2015).

Bu değerler ideal lifli RPB karışım oranlarını ortaya çıkarmak için kullanılmıştır. 1 m<sup>3</sup> karışımda kullanılacak 885 kg çimento miktarına göre ideal lifli RPB karışım oranları Çizelge 3.15'de gösterilmiştir. İdeal lifli RPB numunelerin su/bağlayıcı oranı 0,13 ve silis dumanı/çimento oranı 0,25'dir.

**Çizelge 3.15.** İdeal lifli RPB200 karışım miktarları

Malzemeler	Miktar (kg/m <sup>3</sup> )
Portland Çimentosu	885
Silis Dumanı	221
Kuvars (0,15-0,6 mm)	975
Süper akışkanlaştırıcı	14
Çelik tel (L=12 mm)	155
Su	150
Toplam	2400

#### 3.4.2.2. Bazalt agregalı lifli pudra beton (BLPB)

Bazalt agregalı lifli pudra beton (BLPB) karışım oranları Çizelge 3.16' da verilmiştir. Bu çalışmada, su/bağlayıcı oranı işlene bilirligi kolaylaştırmak amacıyla 0,44 alınmıştır. Karışımın silis dumanı/bağlayıcı oranı 0,25'dir. Çizelge 3.16' daki su/bağlayıcı oranının hesaplanmasında, Portland çimentosu ve silis dumanı her ikisi birlikte bağlayıcı olarak değerlendirilmiştir. Bağlayıcı miktarı, beton karışımındaki toplam Portland çimentosu ve silis dumanı miktarıdır.

**Çizelge 3.16.** Bazalt agregalı lifli pudra beton (BLPB) karışım oranları

Malzemeler	Karışım oranları
Portland çimentosu	1,00
Silis dumanı	0,25
Bazalt (0-1,0 mm)	1,10
Süper akışkanlaştırıcı	0,016
Çelik lif (D=0,70 mm, L=35 mm)	0,175
Su	30
Toplam	3,091

Çizelge 3.16'da, 1 birim cinsinden verilen karışım oranları göz önüne alınarak, hesaplamalarda kolaylık sağlaması amacıyla toplam karışım ağırlığı ile çimento miktarı arasındaki bağıntı Eşitlik (3.4)'de görülmektedir:

$$1 \text{ m}^3 \text{ Beton Karışım Ağırlığı (kg)} = 3,091 \times 1 \text{ m}^3 \text{ Betondaki Çimento Miktarı (kg)} \quad (3.4)$$

1 m<sup>3</sup> beton karışım ağırlığı 2400 kg ise bu karışımda kullanılacak çimento miktarı Eşitlik (3.4)'den 2400/3,091 oranı sonucu yaklaşık 776 kg bulunur. Çimento miktarı 776 kg bulunduktan sonra, karışım oranlarına göre karışımda kullanılacak diğer malzeme miktarları belirlenmiştir. Bu çalışmada, bazalt agregalı lifli pudra betonun (BLPB) su/bağlayıcı oranı 0,44 olacak şekilde yeni karışım miktarları oluşturulmuştur. Su/bağlayıcı oranı 0,44 olan lifli bazalt pudra betonu (BLPB) üretiminde 1 birim cinsinden silis dumanı çimento miktarının ağırlıkça %25'i, kum içeriği çimento miktarının ağırlıkça %110'u, süper akışkanlaştırıcı çimento miktarının ağırlıkça %1,6'sı, çelik lifler çimento miktarının ağırlıkça %17,5'u ve karıştırma suyu çimento miktarının ağırlıkça %55'i oranında hazırlanarak karışım oluşturulmuştur. BLPB karışım miktarları Çizelge 3.17'de görülmektedir. BLPB betonun su/bağlayıcı oranı 0,44 ve silis dumanı/çimento oranı 0,25'dir.

**Çizelge 3.17. Bazalt agregalı lifli pudra beton (BLPB) karışım miktarları**

Malzemeler	Miktar (kg)
Portland Çimentosu	776
Silis Dumanı	194
Bazalt (0-1,0 mm)	854
Süper akışkanlaştırıcı	13
Çelik lif (D=0,70 mm, L=35 mm)	136
Su	427
<b>Toplam</b>	<b>2400</b>

Yol kaplama betonu şartname limitlerinde maksimum su/bağlayıcı oranı 0,40-0,45 ve minimum çimento miktarının 270-335 kg/m<sup>3</sup> olması istenmektedir (Tunç 2007).

Bazalt agregalı lifli pudra betonun (BLPB) kalıp içerisindeki görünümü Şekil 3.16'da gösterilmiştir.



**Şekil 3.16.** Bazalt agregalı lifli pudra betonun (BLPB) kalıp içerisindeki görünümü

### 3.5. Kür Çalışmaları

Tüm tip beton numunelerine 3 tip kür uygulanacaktır:

- 28 gün doğal hava kürü
- 28 gün 20°C su kürü
- Kombine kür

Beton numunelerin 28 gün su kürü ve kombine kürün 3 günlük su kürü uygulamalarında Şekil 3.17’de görülen kür havuzundan yararlanılmıştır.



**Şekil 3.17.** Beton numunelerin kür havuzundaki görünümü

Literatür taramasında, betona uygulanan kombine kür için belirli bir standart bulunamamıştır. Hattatoğlu ve Bakış (2017) çalışmasında, 9 adet birbirine benzemeyen kombine kür tipi ele alınmıştır. Çalışmada, incelenen kür tipleri içerisinde beton dayanımını olumlu yönde etkileyen optimum kombine kür şeklinin, 7 gün 20°C su kürü + 2 gün 90°C su banyosu + 2 gün 180°C etüv olduğu belirtilmiştir. Hattatoğlu ve Bakış (2017) çalışmasında belirtilen kombine kürde, beton numuneler ilk başta 7 günlük su kürüne, daha sonra ara verilmeden 2 günlük su banyosuna, su banyosunun hemen ardından da 2 günlük etüv kürüne dâhil edilmiştir.

Bu tez çalışmasında ise, kombine kür olarak herhangi bir standart bulunmadığından, tez çalışmasında oluşturulan yeni tip beton numunelerine 3 gün 20°C su kürü + 2 gün 200°C etüv kür şeklinde kombine kür uygulanmıştır. Kombine kür uygulamasında beton numuneler Şekil 3.17’de görülen kür havuzunda 3 gün 20°C bekletilmiş, daha sonra kür havuzundan çıkarılarak Şekil 3.18’de görülen etüv içerisine bırakılmıştır.



**Şekil 3.18.** Beton numunelerin etüv içerisindeki görünümü

Numuneler etüv içerisine bırakıldıktan sonra etüv 200°C’ye ayarlanmıştır. Numuneler etüv içerisinde 200°C ısıda 2 gün süre bekletilmiştir. 2 gün sonunda etüv ısısı kapatılmış ve etüv ısısı düşene kadar numuneler etüv içerisinde bekletilmiştir. Böylece numunelerin etüv öncesi ani ısınması veya etüv sonrası ani soğuması önlenmiştir.

### 3.6. Elek Analizi

Referans betonu elek analizi TS EN 933-1 (2012) standardına göre yapılmıştır. Numune eleme işlemleri Şekil 3.19’da görülmektedir.



Şekil 3.19. Beton üretimi için numune eleme işlemleri

### 3.7. Slump Deneyi

Tez çalışmasında taze beton kıvamını belirlemek amacıyla, çökme (slump) deneyleri, TS EN 12350-2 (2019) standardına göre yapılmıştır. Bu standart, taze beton kıvamının, slump deneyi ile belirlenme metodunu içerir. Deneyde kullanılan çökme konisinin taban çapı 200 mm, üst yüzünün çapı 100 mm ve yüksekliği 300 mm’dir. Şişleme çubukları 600 mm uzunlukta ve 16 mm çapındadır. Çökme konisine üçte bir oranında beton harcı konularak 25 defa şişlenmiştir. Şişleme sonrası tekrar üçte bir oranında beton harcı konulmuş ve 25 defa şişlenmiştir. Aynı şekilde çökme konisine son üçte birlik beton harcı da doldurulup 25 defa şişlenmiştir. Üst yüzey mala ile düzeltilmiş ve 3 saniye içerisinde sabit hızda çökme konisi yukarı çekilmiştir. Çökme konisi ile beton harcı arasında oluşan yükseklik farkı 3 farklı noktadan ölçülerek bu değerlerin ortalaması alınmıştır.

### 3.8. Su Emme Deneyi

Çalışmada su emme deneyleri TS 2824 EN 1338/AC (2009) standardına göre yapılmıştır. Bu standart, çimento bağlayıcılı beton kaplama bloklarının sahip olması gereken koşulları ve deney yöntemlerini içerir. Bu standart, kaldırım, bisiklet yolu, oto park, yol, oto yol, hava alanı yol kaplaması, yaya yolu alanlarındaki beton kaplamalara uygulanmaktadır.

Çalışmada, numuneler 3 gün boyunca sabit ağırlığa erişinceye kadar 20°C sıcaklıkta kür havuzuna bırakılmıştır. Daha sonra numuneler havuzdan çıkarılarak kurulanmış ve tartılmıştır. Bu şekilde deney numunelerinin ilk ağırlığı ( $M_1$ ) bulunmuştur. Daha sonra numuneler, etüv içerisine yerleştirilmiş ve 3 gün boyunca 105°C sıcaklıkta sabit kuru ağırlığa ( $M_2$ ) erişinceye kadar kurutulmuştur. Her bir numunenin ağırlıkça su emmesi ( $W_a$ ), ağırlıkça yüzde cinsinden Eşitlik (3.5)'den hesaplanmıştır:

$$W_a = [(M_1 - M_2) / M_2] \times 100 \quad (3.5)$$

Su emme deneyi için her tip numuneden 3 adet alınmıştır.

### 3.9. Birim Hacim Ağırlık Deneyi

Çalışmada birim hacim ağırlık deneyleri TS EN 12390-7 (2019) standardına göre yapılmıştır. Bu standart, sertleşmiş beton yoğunluğunu belirlemek amacıyla uygulanan deney metotlarını içermektedir.

### 3.10. Basınç Deneyi

Rijit üstyapı beton yol kaplaması şartname limitinde, betonun minimum basınç dayanımının 28 MPa olması istenmektedir (Tunç 2007). Tez çalışmasında, basınç deneyleri TS EN 12390-3 (2010) standardına göre yapılmıştır. Bu standart esas alınarak basınç deneyi cihaz yükleme hızı 0,6 MPa/s ( $N/mm^2.s$ ) olarak alınmıştır. Basınç deneylerinde, Şekil 3.20'de görüldüğü gibi, lifli ve lifsiz olmak üzere tüm beton karışımlarından üçer adet olmak üzere 15×15×15 cm boyutlarında numuneler hazırlanmıştır.



**Şekil 3.20.** Beton numune kalıp görünümü

Hazırlanan beton karışımları Şekil 3.21’de görüldüğü gibi 15×15×15 cm küp kalıplara yerleştirilmiştir.



**Şekil 3.21.** Basınç deney numunelerinin kalıplara yerleştirilmesi

Beton basınç deney numuneleri Şekil 3.22’de görüldüğü gibi kalıplara şişle sıkıştırılarak yerleştirilmiştir.



**Şekil 3.22.** Beton basınç deney numunelerinin kalıp içerisinde sıkıştırılması

24 saat kalıpta bekletilen numuneler her beton türünden üçer adet numune olmak üzere 7 ve 28 günlük 20°C standart su kürü ile kombine kür alınmıştır. Kombine kür olarak numunelere 3 gün su (20°C) + 2 gün etüv (200°C) uygulanmıştır. Kür sonrası tüm lifsiz ve lifli beton numunelerin basınç deneyleri yapılmıştır.

### 3.11. Çekme Dayanımı

Çalışmada test edilen basınç dayanım sonuçları göz önüne alınarak, numunelerin çekme dayanımı değerleri TS 500/T3 (2014)' e göre Eşitlik (3.6) yardımıyla hesaplanmıştır:

$$F_{ctk} = 0.35 \times \sqrt{F_{ck}} \quad (3.6)$$

Burada;

F<sub>ck</sub>: Betonun karakteristik silindir basınç dayanımı, MPa

F<sub>ctk</sub>: Betonun eksenel çekme dayanımı, MPa

TS 500/T3 (2014)' e göre betonun karakteristik silindir basınç dayanımı, karakteristik basınç dayanımının 0,8 katı alınabilir. Tez çalışmasında küp numuneler kullanıldığından, bu numunelerin karakteristik silindir basınç dayanım değerleri, TS 500/T3 (2014)' e uygun olarak küp numunelerin basınç dayanım değerlerinin 0,8 katı alınarak hesaplanmıştır.



### 3.12. Eğilmede Çekme Dayanımı

Şartname limitlerinde beton yol kaplama betonu için minimum eğilmede çekme dayanımının 4,5 MPa olması istenmektedir (Tunç 2007). TS 500/T3 (2014)' e göre, betonun aksenal çekme dayanımı ( $F_{ctk}$ ), yarmada çekme dayanım değerinin ( $\sigma_{\text{ç}}$ ) 1,50 ile eğilmede çekme dayanım değerinin ( $\sigma_e$ ) 2 ile bölünmesiyle yaklaşık olarak hesaplanabilir. Buna göre betonun eğilme dayanım değeri Eşitlik (3.7) yardımıyla hesaplanabilir:

$$\sigma_e = 2 \times F_{ctk} \quad (3.7)$$

Eşitlik (3.7)'de Eşitlik (3.6)'daki  $F_{ctk}$  değeri yazılarak Eşitlik (3.8) elde edilir:

$$\sigma_e = 0,7 \times \sqrt{F_{ck}} \quad (3.8)$$

Burada;

$\sigma_e$ : Betonun eğilmede çekme dayanımı, MPa

$F_{ctk}$ : Betonun aksenal çekme dayanımı, MPa

$F_{ck}$ : Betonun karakteristik silindir basınç dayanımı, MPa

### 3.13. Yarmada Çekme Dayanımı

TS 500/T3 (2014)' e göre, betonun aksenal çekme dayanımı ( $F_{ctk}$ ), yarmada çekme dayanım değerinin ( $\sigma_{\text{ç}}$ ) 1,50 ile eğilmede çekme dayanım değerinin ( $\sigma_e$ ) 2 ile bölünmesiyle yaklaşık olarak hesaplanabilir. Buna göre betonun yarmada çekme dayanım değeri ( $\sigma_{\text{ç}}$ ) Eşitlik (3.9) yardımıyla hesaplanabilir:

$$\sigma_{\text{ç}} = 1,50 \times F_{ctk} \quad (3.9)$$

Eşitlik (3.9)'da Eşitlik (3.6)'daki  $F_{ctk}$  değeri yerine konularak Eşitlik (3.10) elde edilir:

$$\sigma_{\text{ç}} = 0,525 \times \sqrt{F_{ck}} \quad (3.10)$$

Burada;

$\sigma_c$ : Betonun yarmada çekme dayanımı, MPa

$F_{ctk}$ : Betonun aksenal çekme dayanımı, MPa

$F_{ck}$ : Betonun karakteristik silindir basınç dayanımı, MPa

### 3.14. Elastisite Modülü

TS 500/T3 (2014)' e göre hesaplanan karakteristik silindir basınç dayanımları göz önüne alınarak, numunelerin Elastisite Modülü TS 500/T3 (2014)' e göre Eşitlik (3.11) yardımıyla hesaplanmıştır:

$$E_c = (3250 \times \sqrt{F_{ck}}) + 14000 \quad (3.11)$$

Burada;

$E_c$ : Betonun Elastisite Modülü, MPa

$F_{ck}$ : Betonun karakteristik silindir basınç dayanımı, MPa

## 4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Bu tez çalışmasında günümüzde üretilen beton tipleri Referans Beton olarak ele alınmıştır ve yeni üretilen Bazalt Agregalı Pudra Betonlar ile yapılan deneyler ve bu deneylerin sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.

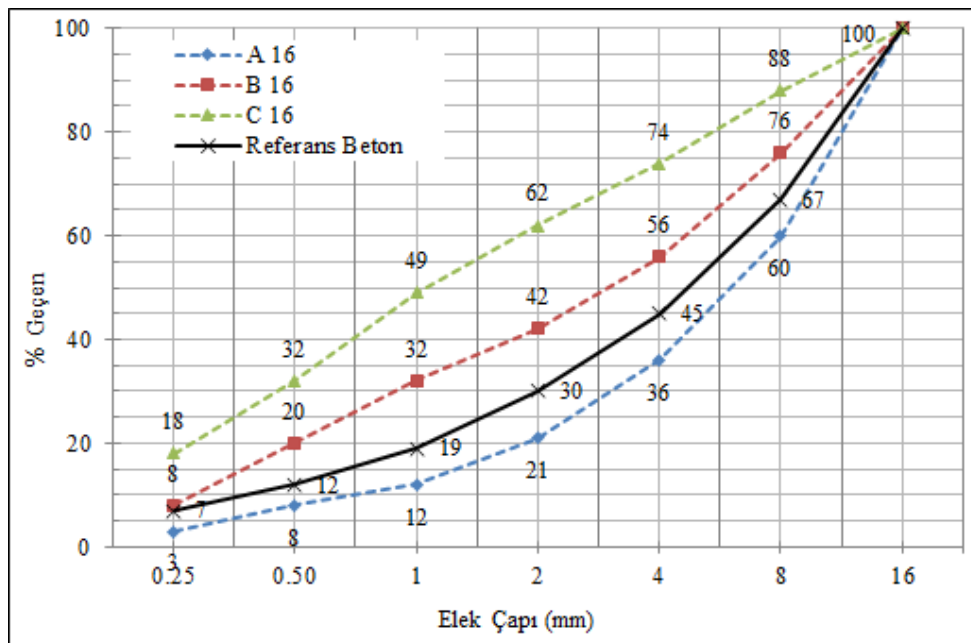
### 4.1. Elek Analiz Sonuçları

Referans betonu elek analizi Çizelge 4.1’de görülmektedir.

**Çizelge 4.1.** Referans betonu elek analizi

Elek çapı (mm)	Elek üzerinde kalan ağırlık (gr)	Elek üzerinde kalan toplam ağırlık (gr)	Elek üzerinde kalan toplam ağırlık (%)	Elek altında kalan (%)
16	-	-	-	100
8	960	990	33	67
4	660	1650	55	45
2	450	2100	70	30
1	330	2430	81	19
0,5	210	2640	88	12
0,25	150	2790	93	7

Referans betonu elek analiz grafiği Şekil 4.1’de görülmektedir.



**Şekil 4.1.** Referans betonu elek analiz grafiği

Şekil 4.1' de görüldüğü gibi referans betonu agrega granülometrisi TS 802 (2009)' a uygundur.

#### 4.2. Slump Deney Sonuçları

Slump deney sonuçları Çizelge 4.2'de görülmektedir.

**Çizelge 4.2. Slump deney sonuçları**

Beton Tipi	Slump (cm)
BRB	14
BRLB	13
BPB	17
BLPB	16

Çizelge 4.2'de görüldüğü gibi bazalt agregalı lifsiz pudra beton (BPB) ve bazalt agregalı lifli pudra beton (BLPB) betonları daha akıcı olup, bu betonların işlenebilirliği bazalt agregalı lifsiz referans beton (BRB) ve bazalt agregalı lifli referans beton (BRLB) betonlarından daha yüksektir.

#### 4.3. Birim Hacim Ağırlık ve Su Emme Deney Sonuçları

Beton tiplerinin birim hacim ağırlık ve su emme değerleri Çizelge 4.3'de görülmektedir.

**Çizelge 4.3. Beton tiplerinin birim hacim ağırlık ve su emme değerleri**

Beton Tipi	BHA (g/cm <sup>3</sup> )				
	Taze Beton	28 Gün Hava Kürü Sonrası	28 Gün Su Kürü Sonrası	Kombine Kür Sonrası	Su Emme (%)
BRB	2,331	2,303	2,359	2,182	7,7
BRLB	2,424	2,396	2,486	2,266	7,9
BPB	2,010	1,956	2,045	1,738	17,5
BLPB	2,055	1,995	2,132	1,797	16,9

Tez çalışmasında oluşturulan yeni tip beton numunelerine 3 gün 20°C su kürü ve hemen ardından 2 gün 200°C etüv kürü şeklinde kombine kür uygulanmıştır. Çizelge

4.3’de görüldüğü gibi kombine kür sonrası beton birim hacim ağırlıklarına göre bazalt agregalı lifsiz referans beton (BRB) ve bazalt agregalı lifli referans beton (BRLB) betonlar normal betonlar sınıfına girdiği halde, bazalt agregalı lifsiz pudra beton (BPB) ve bazalt agregalı lifli pudra beton (BLPB) betonlar hafif beton sınıfına girmektedirler. Sonuç olarak, beton birim hacim ağırlıklarının azalmasından dolayı hafifleyen beton yol kaplama elemanları yola etkiyen deprem kuvvetlerinin azalmasına katkı sağlayarak, yolun deprem dayanımını artırabileceği söylenebilir.

#### 4.4. Basınç Deney Sonuçları

##### 4.4.1. Lifsiz ve lifli beton basınç deney sonuçları

##### 4.4.1.1. Kontrol numunesi (referans beton) beton basınç deney sonuçları

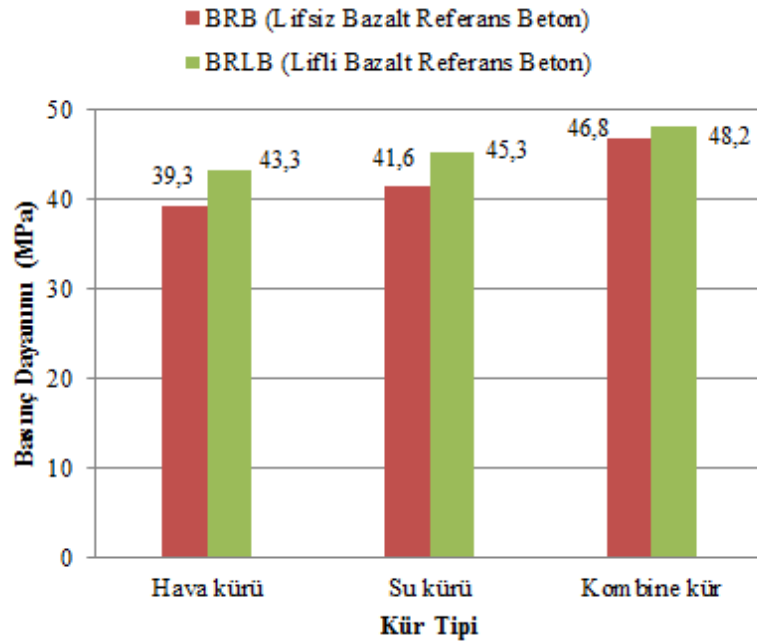
Kontrol numunesi beton basınç deney sonuçları Çizelge 4.4’de verilmiştir.

Kür Tipi	Ortalama Basınç Dayanımı (MPa)	
	Lifsiz Referans Betonu (BRB)	Lifli Referans Betonu (BRLB)
	Hava Kürü	39,3
Standart su kürü (28 gün 20°C)	41,6	45,3
Kombine kür (3 gün 20°C su + 2 gün 200°C etüv)	46,8	48,2

Çizelge 4.4’de görüldüğü gibi, bazalt agregalı lifsiz referans betonun (BRB) 28 gün hava kürü sonrası ortalama karakteristik küp basınç dayanımı 39,3 MPa’dır. Bazalt agregalı lifsiz referans betonun (BRB) 28 gün 20°C su kürü sonrası ortalama karakteristik küp basınç dayanımı 41,6 MPa’dır. Bazalt agregalı lifsiz referans betonun (BRB) kombine kür sonrası ortalama karakteristik küp basınç dayanımı 46,8 MPa’dır. Üretilen yeni tip bazalt agregalı lifli referans betonun (BRLB) 28 gün hava kürü sonrası ortalama karakteristik küp basınç dayanımı 43,3 MPa’dır. Üretilen yeni tip bazalt agregalı lifli referans betonun (BRLB) 28 gün 20°C su kürü sonrası ortalama

karakteristik küp basınç dayanımı 45,3 MPa'dır. Üretilen yeni tip bazalt agregalı lifli referans betonun (BRLB) kombine kür sonrası ortalama karakteristik küp basınç dayanımı 48,2 MPa'dır.

Lifsiz (BRB) ve lifli (BRLB) bazalt referans beton numunelerinin beton basınç deney sonuçları Şekil 4.2'de gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Referans beton numunelerinin basınç deney sonuçları

#### 4.4.1.2. Bazalt agregalı lifli ve lifsiz pudra betonu basınç deney sonuçları

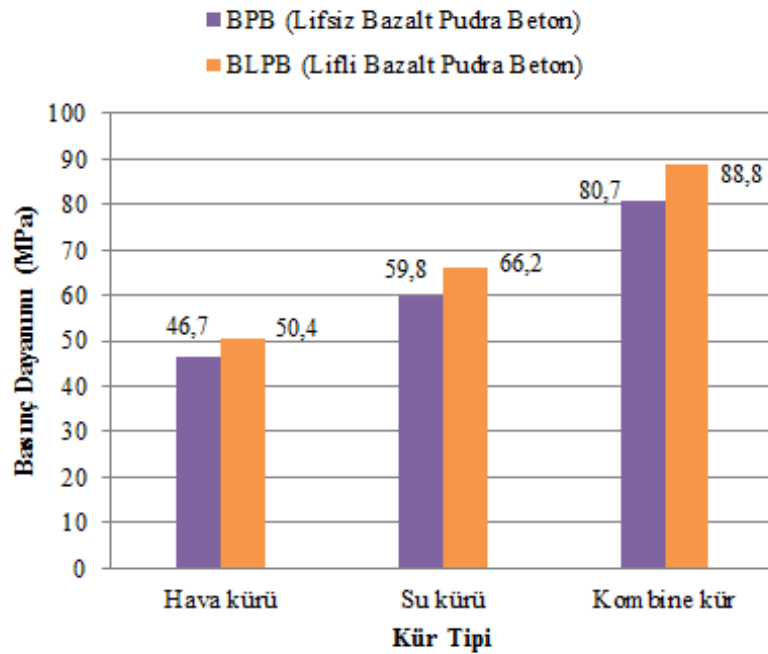
Deney sonuçları Çizelge 4.5'de verilmiştir.

Çizelge 4.5. Bazalt agregalı lifli ve lifsiz pudra betonu basınç deney sonuçları

Kür Tipi	Ortalama Basınç Dayanımı (MPa)	
	Lifsiz Pudra Betonu (BPB)	Lifli Pudra Betonu (BLPB)
Hava Kürü	46,7	50,4
Standart su kürü (28 gün 20°C)	59,8	66,2
Kombine kür (3 gün 20°C su+2 gün 200°C etiv)	80,7	88,8

Çizelge 4.5’de görüldüğü gibi, üretilen yeni tip bazalt agregalı lifsiz pudra betonun (BPB) 28 gün hava kürü sonrası ortalama karakteristik küp basınç dayanımı 46,7 MPa’dır. Üretilen yeni tip bazalt agregalı lifsiz pudra betonun (BPB) 28 gün 20°C su kürü sonrası ortalama karakteristik küp basınç dayanımı 59,8 MPa’dır. Üretilen yeni tip bazalt agregalı lifsiz pudra betonun (BPB) kombine kür sonrası ortalama karakteristik küp basınç dayanımı 80,7 MPa’dır. Üretilen yeni tip bazalt agregalı lifli pudra betonun (BLPB) 28 gün hava kürü sonrası ortalama karakteristik küp basınç dayanımı 50,4 MPa’dır. Üretilen yeni tip bazalt agregalı lifli pudra betonun (BLPB) 28 gün 20°C su kürü sonrası ortalama karakteristik küp basınç dayanımı 66,2 MPa’dır. Üretilen yeni tip bazalt agregalı lifli pudra betonun (BLPB) kombine kür sonrası ortalama karakteristik küp basınç dayanımı 88,8 MPa’dır.

Lifsiz (BPB) ve lifli (BLPB) bazalt pudra beton numunelerinin beton basınç deney sonuçları Şekil 4.3’de gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Bazalt pudra beton numunelerinin basınç deney sonuçları

#### 4.4.1.3. Basınç deneyi genel sonuçları

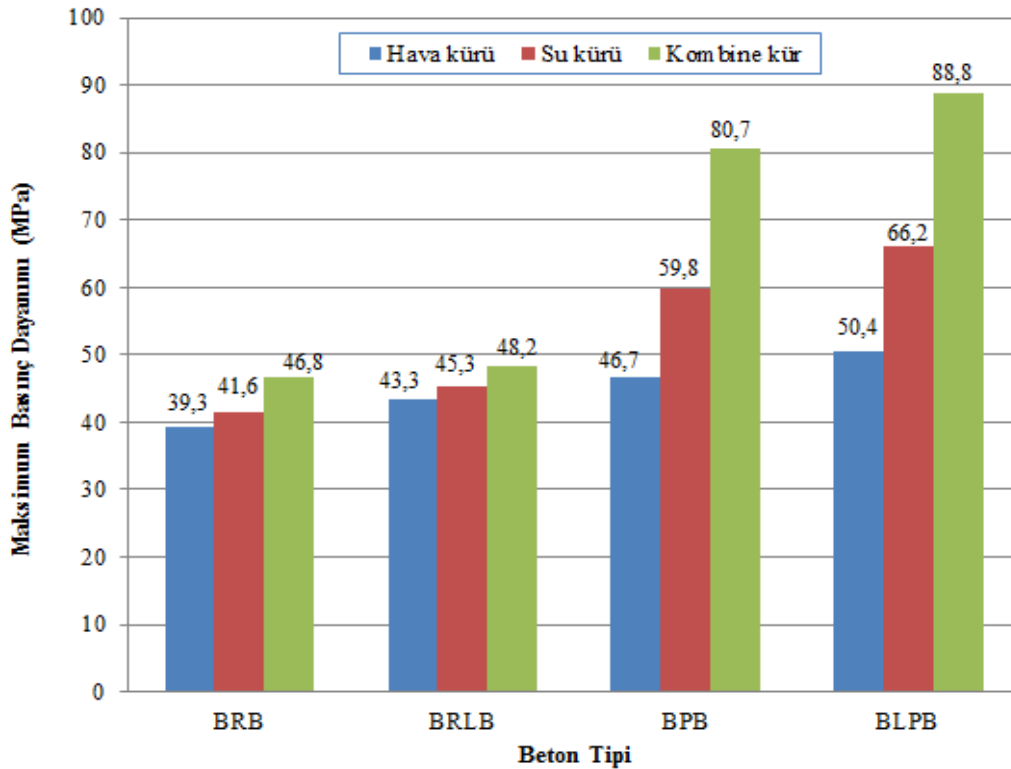
Lifli ve lifsiz betonların basınç deneyi genel sonuçları Çizelge 4.6’da gösterilmiştir. Çizelge 4.6 ve Şekil 4.4 göz önüne alındığında, en yüksek basınç dayanımı veren kür tipinin kombine kür olduğu anlaşılmaktadır. Çizelge 4.6 ve Şekil

4.4’de görüldüğü gibi, bazalt agregalı lifsiz pudra betona (BPB) farklı kür uygulanması sonucunda en yüksek ortalama karakteristik küp basınç dayanımı kombine kür sonunda 80,7 MPa olarak elde edilmiştir. Bazalt agregalı lifli pudra betona (BLPB) farklı kür uygulanması sonucunda en yüksek ortalama karakteristik küp basınç dayanımı kombine kür sonunda 88,8 MPa olarak elde edilmiştir.

**Çizelge 4.6.** Basınç deneyi genel sonuçları

Kür Tipi	Ortalama Basınç Dayanımı (MPa)			
	Lifsiz		Lifli	
	Bazalt Referans Betonu (BRB)	Bazalt Pudra Betonu (BPB)	Bazalt Referans Beton (BRLB)	Bazalt Lifli Pudra Betonu (BLPB)
Hava kürü	39,3	46,7	43,3	50,4
Standart su kürü (28 gün 20°C)	41,6	59,8	45,3	66,2
Kombine kür (3 gün 20°C su + 2 gün 200°C etüv)	46,8	80,7	48,2	88,8

Tüm beton tiplerinin farklı kürlerde basınç deney sonuçları Şekil 4.4’de gösterilmiştir.



**Şekil 4.4.** Tüm beton tiplerinin farklı kürlerde basınç deney sonuçları



#### 4.5. Beton Çekme Dayanım Sonuçları

TS 500/T3 (2014)' e göre betonun karakteristik silindir basınç dayanımı, karakteristik küp basınç dayanımının 0,8 katı alınabilir. Tez çalışmasında küp numuneler kullanıldığından, bu numunelerin karakteristik silindir basınç dayanım değerleri, TS 500/T3 (2014)' e uygun olarak küp numunelerin basınç dayanım değerlerinin 0,8 katı alınarak hesaplanmıştır. Buna göre tüm beton numunelerin karakteristik silindir basınç dayanımları hesaplanarak Çizelge 4.7'de gösterilmiştir.

**Çizelge 4.7.** Beton numunelerin karakteristik silindir basınç dayanımları

Kür Tipi	Ortalama Karakteristik Silindir Basınç Dayanımı (MPa)			
	Lifsiz		Lifli	
	Bazalt Referans Betonu (BRB)	Bazalt Pudra Betonu (BPB)	Bazalt Referans Lifli Beton (BRLB)	Bazalt Lifli Pudra Betonu (BLPB)
Hava kürü	31,4	37,4	34,6	40,3
Standart su kürü (28 gün 20°C)	33,3	47,8	36,2	53,0
Kombine kür (3 gün 20°C su + 2 gün 200°C etüv)	37,4	64,6	38,6	71,0

Betonların eksenel çekme dayanımları Eşitlik (3.6) yardımıyla hesaplanarak Çizelge 4.8'de gösterilmiştir.

**Çizelge 4.8.** Beton numunelerin eksenel çekme dayanımları

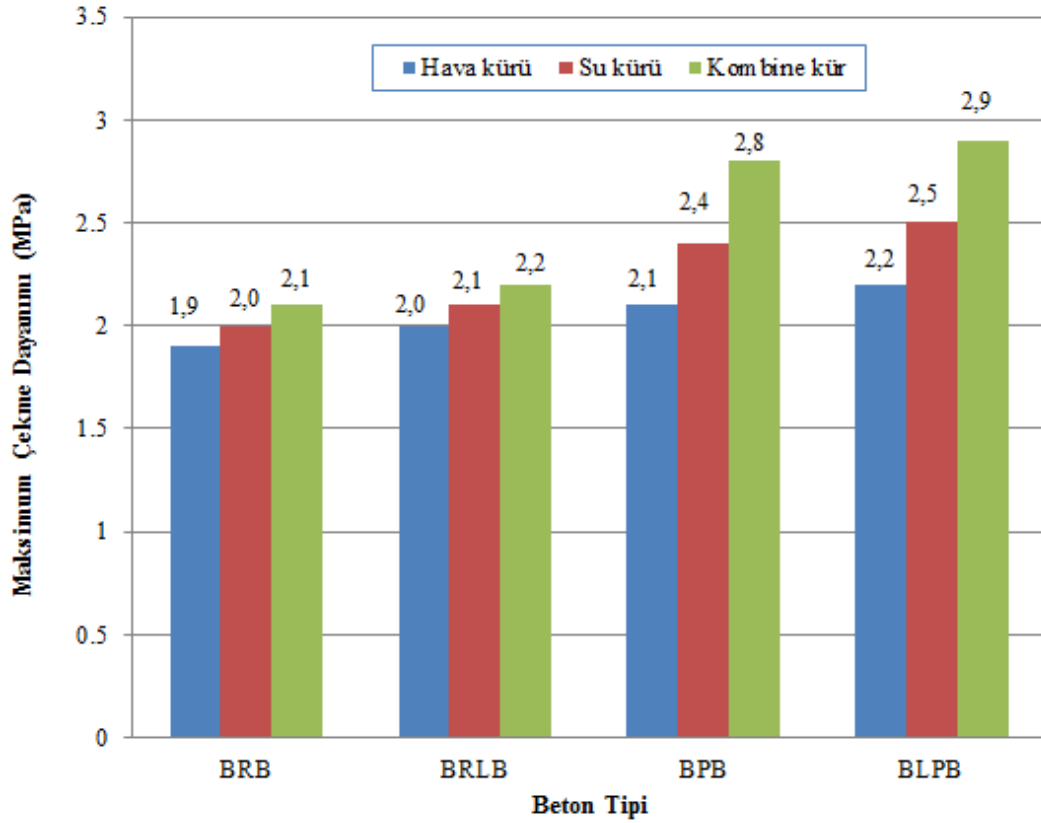
Kür Tipi	Ortalama Eksenel Çekme Dayanımı (MPa)			
	Lifsiz		Lifli	
	Bazalt Referans Betonu (BRB)	Bazalt Pudra Betonu (BPB)	Bazalt Referans Lifli Beton (BRLB)	Bazalt Lifli Pudra Betonu (BLPB)
Hava kürü	1,9	2,1	2,0	2,2
Standart su kürü (28 gün 20°C)	2,0	2,4	2,1	2,5
Kombine kür (3 gün 20°C su + 2 gün 200°C etüv)	2,1	2,8	2,2	2,9

Çizelge 4.8'e göre, bazalt agregalı lifsiz referans betonun (BRB) 28 gün hava kürü sonrası ortalama eksenel çekme dayanımı 1,9 MPa'dır. Bazalt agregalı lifsiz

referans betonun (BRB) 28 gün 20°C su kürü sonrası ortalama aksenal çekme dayanımı 2,0 MPa'dır. Bazalt agregalı lifsiz referans betonun (BRB) kombine kür sonrası ortalama aksenal çekme dayanımı 2,1 MPa'dır. Üretilen yeni tip bazalt agregalı lifli referans betonun (BRLB) 28 gün hava kürü sonrası ortalama aksenal çekme dayanımı 2,0 MPa'dır. Üretilen yeni tip bazalt agregalı lifli referans betonun (BRLB) 28 gün 20°C su kürü sonrası ortalama aksenal çekme dayanımı 2,1 MPa'dır. Üretilen yeni tip bazalt agregalı lifli referans betonun (BRLB) kombine kür sonrası ortalama aksenal çekme dayanımı 2,2 MPa'dır.

Çizelge 4.8'de görüldüğü gibi, üretilen yeni tip bazalt agregalı lifsiz pudra betonun (BPB) 28 gün hava kürü sonrası ortalama aksenal çekme dayanımı 2,1 MPa'dır. Üretilen yeni tip bazalt agregalı lifsiz pudra betonun (BPB) 28 gün 20°C su kürü sonrası ortalama aksenal çekme dayanımı 2,4 MPa'dır. Üretilen yeni tip bazalt agregalı lifsiz pudra betonun (BPB) kombine kür sonrası ortalama aksenal çekme dayanımı 2,8 MPa'dır. Üretilen yeni tip bazalt agregalı lifli pudra betonun (BLPB) 28 gün hava kürü sonrası ortalama aksenal çekme dayanımı 2,2 MPa'dır. Üretilen yeni tip bazalt agregalı lifli pudra betonun (BLPB) 28 gün 20°C su kürü sonrası ortalama aksenal çekme dayanımı 2,5 MPa'dır. Üretilen yeni tip bazalt agregalı lifli pudra betonun (BLPB) kombine kür sonrası ortalama aksenal çekme dayanımı 2,9 MPa'dır.

Tüm beton tiplerinin farklı kürlerde maksimum çekme dayanımları Şekil 4.5'de gösterilmiştir. Şekil 4.5'den, en yüksek aksenal çekme dayanımı veren kür tipinin kombine kür olduğu anlaşılmaktadır. Şekil 4.5'de görüldüğü gibi, bazalt agregalı lifsiz pudra betona (BPB) farklı kür uygulanması sonucunda en yüksek ortalama aksenal çekme dayanımı kombine kür sonunda 2,8 MPa olarak elde edilmiştir. Bazalt agregalı lifli pudra betona (BLPB) farklı kür uygulanması sonucunda en yüksek ortalama aksenal çekme dayanımı kombine kür sonunda 2,9 MPa olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.5. Tüm beton tiplerinin farklı kürlerde maksimum çekme dayanımları

#### 4.6. Betonların Eğilme Dayanım Sonuçları

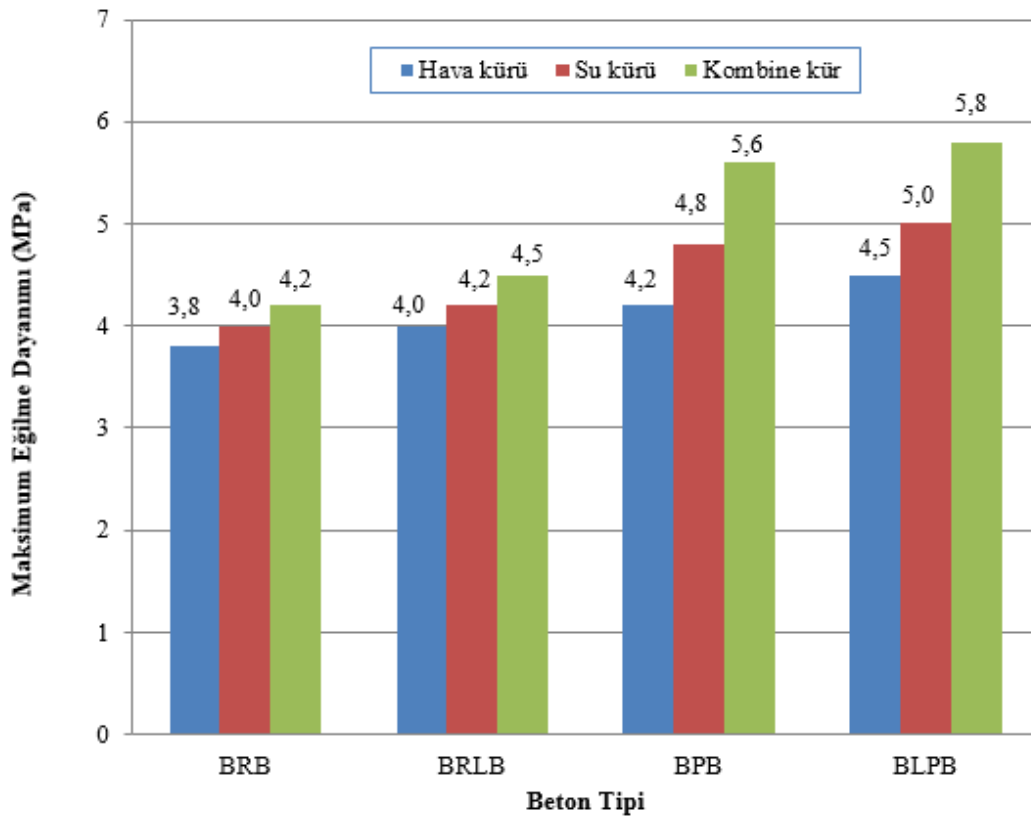
Betonların eğilme dayanımları Eşitlik (3.7) yardımıyla hesaplanarak Çizelge 4.9’da gösterilmiştir.

Çizelge 4.9. Beton numunelerin eğilme dayanımları

Kür Tipi	Ortalama Eğilme Dayanımı (MPa)			
	Lifsiz		Lifli	
	Bazalt Referans Betonu (BRB)	Bazalt Pudra Betonu (BPB)	Bazalt Referans Lifli Beton (BRLB)	Bazalt Lifli Pudra Betonu (BLPB)
Hava kürü	3,8	4,2	4,0	4,5
Standart su kürü (28 gün 20°C)	4,0	4,8	4,2	5,0
Kombine kür (3 gün 20°C su + 2 gün 200°C etüv)	4,2	5,6	4,5	5,8

Çizelge 4.9’da görüldüğü gibi bazalt agregalı lifsiz referans betonun (BRB) 28 gün hava kürü sonrası ortalama eğilme dayanımı 3,8 MPa’dır. Bazalt agregalı lifsiz

referans betonun (BRB) 28 gün 20°C su kürü sonrası ortalama eğilme dayanımı 4,0 MPa'dır. Bazalt agregalı lifsiz referans betonun (BRB) kombine kür sonrası ortalama eğilme dayanımı 4,2 MPa'dır. Üretilen yeni tip bazalt agregalı lifli referans betonun (BRLB) 28 gün hava kürü sonrası ortalama eğilme dayanımı 4,0 MPa'dır. Üretilen yeni tip bazalt agregalı lifli referans betonun (BRLB) 28 gün 20°C su kürü sonrası ortalama eğilme dayanımı 4,2 MPa'dır. Üretilen yeni tip bazalt agregalı lifli referans betonun (BRLB) kombine kür sonrası ortalama eğilme dayanımı 4,5 MPa'dır. Üretilen yeni tip bazalt agregalı lifsiz pudra betonun (BPB) 28 gün hava kürü sonrası ortalama eğilme dayanımı 4,2 MPa'dır. Üretilen yeni tip bazalt agregalı lifsiz pudra betonun (BPB) 28 gün 20°C su kürü sonrası ortalama eğilme dayanımı 4,8 MPa'dır. Üretilen yeni tip bazalt agregalı lifsiz pudra betonun (BPB) kombine kür sonrası ortalama eğilme dayanımı 5,6 MPa'dır. Üretilen yeni tip bazalt agregalı lifli pudra betonun (BLPB) 28 gün hava kürü sonrası ortalama eğilme dayanımı 4,5 MPa'dır. Üretilen yeni tip bazalt agregalı lifli pudra betonun (BLPB) 28 gün 20°C su kürü sonrası ortalama eğilme dayanımı 5,0 MPa'dır. Üretilen yeni tip bazalt agregalı lifli pudra betonun (BLPB) kombine kür sonrası ortalama eğilme dayanımı 5,8 MPa'dır.



Şekil 4.6. Tüm beton tiplerinin farklı kürlerde maksimum eğilme dayanımları

Tüm beton tiplerinin farklı kürlerde maksimum eğilme dayanımları Şekil 4.6’da görülmektedir. Şekil 4.6’da görüldüğü gibi, bazalt agregalı lifsiz pudra betona (BPB) farklı kür uygulanması sonucunda en yüksek ortalama eğilme dayanımı kombine kür sonunda 5,6 MPa olarak bulunmuştur. Bazalt agregalı lifli pudra betona (BLPB) farklı kür uygulanması sonucunda en yüksek ortalama eğilme dayanımı kombine kür sonunda 5,8 MPa olarak bulunmuştur.

#### 4.7. Betonların Yarmada Çekme Dayanım Sonuçları

Betonların yarmada çekme dayanımları Eşitlik (3.9) yardımıyla hesaplanarak Çizelge 4.10’da gösterilmiştir.

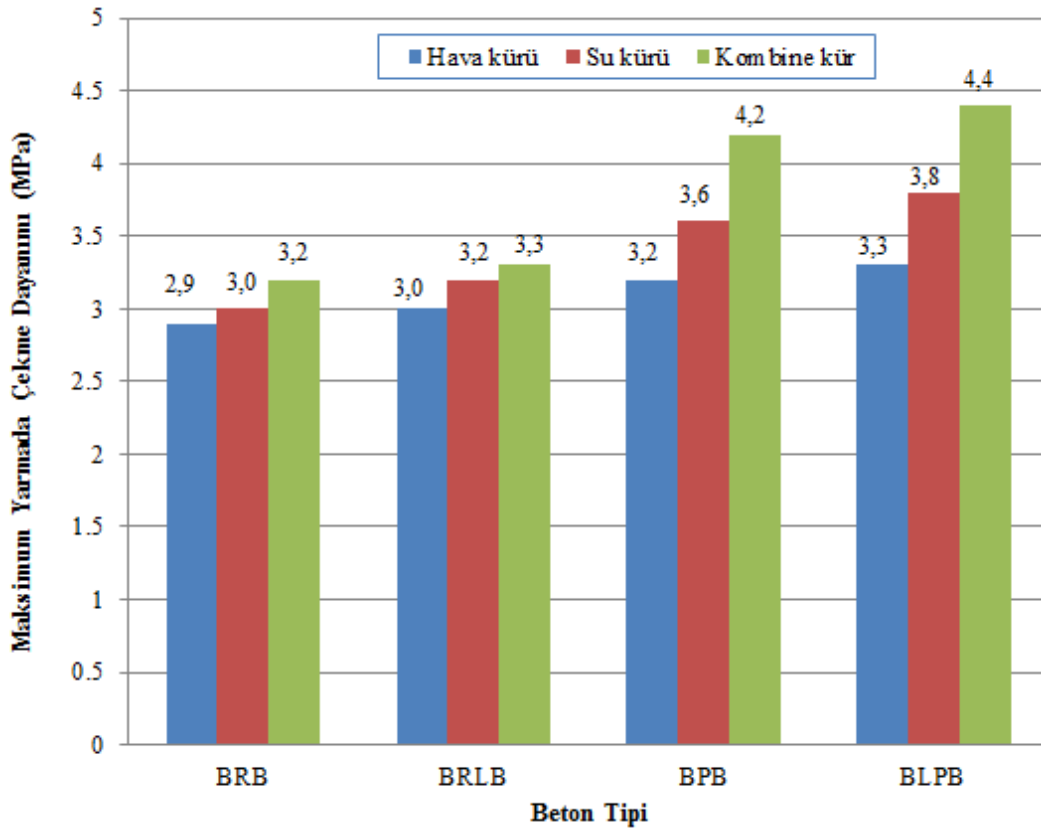
**Çizelge 4.10. Beton numunelerin yarmada çekme dayanımları**

Kür Tipi	Ortalama Yarmada Çekme Dayanımı (MPa)			
	Lifsiz		Lifli	
	Bazalt Referans Betonu (BRB)	Bazalt Pudra Betonu (BPB)	Bazalt Referans Lifli Beton (BRLB)	Bazalt Lifli Pudra Betonu (BLPB)
Hava kürü	2,9	3,2	3,0	3,3
Standart su kürü (28 gün 20°C)	3,0	3,6	3,2	3,8
Kombine kür (3 gün 20°C su + 2 gün 200°C etüv)	3,2	4,2	3,3	4,4

Çizelge 4.10’e göre, bazalt agregalı lifsiz referans betonun (BRB) 28 gün hava kürü sonrası ortalama yarmada çekme dayanımı 2,9 MPa’dır. Bazalt agregalı lifsiz referans betonun (BRB) 28 gün 20°C su kürü sonrası ortalama yarmada çekme dayanımı 3,0 MPa’dır. Bazalt agregalı lifsiz referans betonun (BRB) kombine kür sonrası ortalama yarmada çekme dayanımı 3,2 MPa’dır. Üretilen yeni tip bazalt agregalı lifli referans betonun (BRLB) 28 gün hava kürü sonrası ortalama yarmada çekme dayanımı 3,0 MPa’dır. Üretilen yeni tip bazalt agregalı lifli referans betonun (BRLB) 28 gün 20°C su kürü sonrası ortalama yarmada çekme dayanımı 3,2 MPa’dır. Üretilen yeni tip bazalt agregalı lifli referans betonun (BRLB) kombine kür sonrası ortalama yarmada çekme dayanımı 3,3 MPa’dır. Çizelge 4.10’da görüldüğü gibi, üretilen yeni tip bazalt agregalı lifsiz pudra betonun (BPB) 28 gün hava kürü sonrası ortalama yarmada çekme dayanımı 3,2 MPa’dır. Üretilen yeni tip bazalt agregalı lifsiz pudra betonun (BPB) 28

gün 20°C su kürü sonrası ortalama yarmada çekme dayanımı 3,6 MPa'dır. Üretilen yeni tip bazalt agregalı lifsiz pudra betonun (BPB) kombine kür sonrası ortalama yarmada çekme dayanımı 4,2 MPa'dır. Üretilen yeni tip bazalt agregalı lifli pudra betonun (BLPB) 28 gün hava kürü sonrası ortalama yarmada çekme dayanımı 3,3 MPa'dır. Üretilen yeni tip bazalt agregalı lifli pudra betonun (BLPB) 28 gün 20°C su kürü sonrası ortalama yarmada çekme dayanımı 3,8 MPa'dır. Üretilen yeni tip bazalt agregalı lifli pudra betonun (BLPB) kombine kür sonrası ortalama yarmada çekme dayanımı 4,4 MPa'dır.

Tüm beton tiplerinin farklı kürlerde maksimum yarmada çekme dayanımları Şekil 4.7'de gösterilmiştir.



**Şekil 4.7.** Tüm beton tiplerinin farklı kürlerde maksimum yarmada çekme dayanımları

Şekil 4.7'den, en yüksek yarmada çekme dayanımı veren kür tipinin kombine kür olduğu anlaşılmaktadır. Şekil 4.7'de görüldüğü gibi, bazalt agregalı lifsiz pudra betona (BPB) farklı kür uygulanması sonucunda en yüksek ortalama yarmada çekme dayanımı kombine kür sonunda 4,2 MPa olarak elde edilmiştir. Bazalt agregalı lifli

pudra betona (BLPB) farklı kür uygulanması sonucunda en yüksek ortalama yarmada çekme dayanımı kombine kür sonunda 4,4 MPa olarak elde edilmiştir.

#### 4.8. Betonların Elastisite Modülü Sonuçları

Betonların Elastisite Modülleri Eşitlik (3.11) yardımıyla hesaplanarak Çizelge 4.11’de gösterilmiştir.

**Çizelge 4.11. Beton numunelerin Elastisite Modülü**

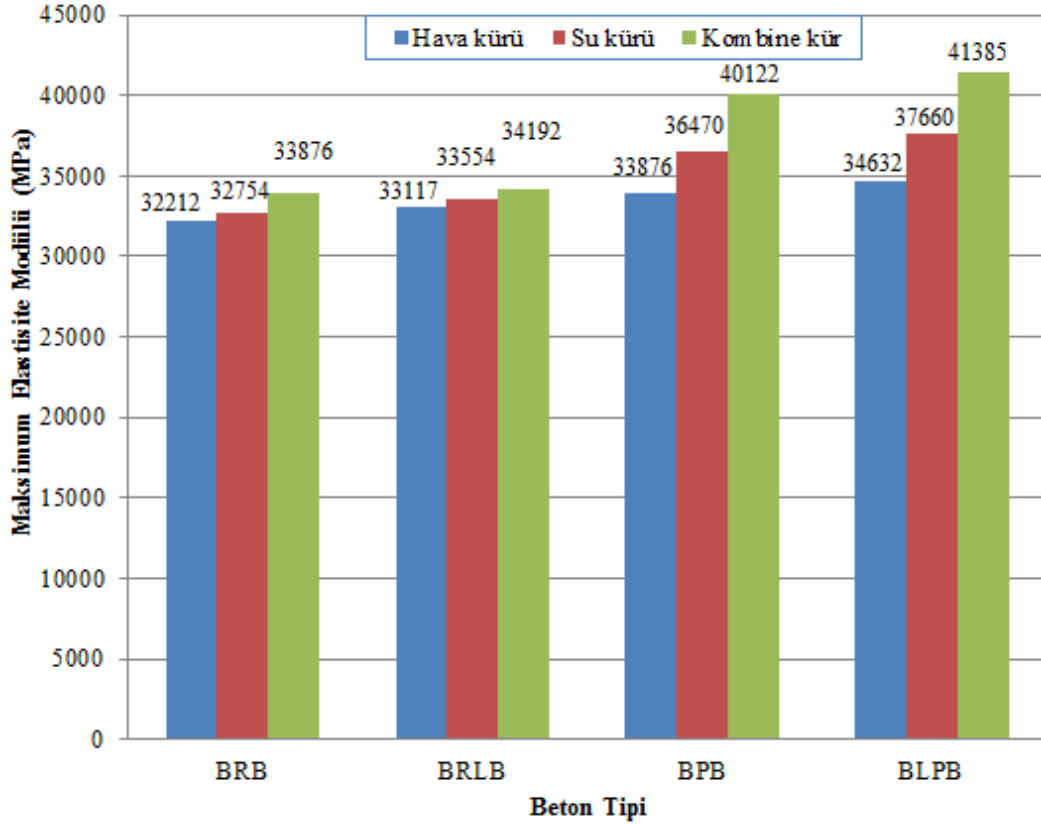
Kür Tipi	Ortalama Elastisite Modülü (MPa)			
	Lifsiz		Lifli	
	Bazalt Referans Betonu (BRB)	Bazalt Pudra Betonu (BPB)	Bazalt Referans Lifli Beton (BRLB)	Bazalt Lifli Pudra Betonu (BLPB)
Hava kürü	32212	33876	33117	34632
Standart su kürü (28 gün 20°C)	32754	36470	33554	37660
Kombine kür (3 gün 20°C su + 2 gün 200°C etüv)	33876	40122	34192	41385

Çizelge 4.11’e göre, bazalt agregalı lifsiz referans betonun (BRB) 28 gün hava kürü sonrası ortalama Elastisite Modülü 32212 MPa’dır. Bazalt agregalı lifsiz referans betonun (BRB) 28 gün 20°C su kürü sonrası ortalama Elastisite Modülü 32754 MPa’dır. Bazalt agregalı lifsiz referans betonun (BRB) kombine kür sonrası ortalama Elastisite Modülü 33876 MPa’dır. Üretilen yeni tip bazalt agregalı lifli referans betonun (BRLB) 28 gün hava kürü sonrası ortalama Elastisite Modülü 33117 MPa’dır. Üretilen yeni tip bazalt agregalı lifli referans betonun (BRLB) 28 gün 20°C su kürü sonrası ortalama Elastisite Modülü 33554 MPa’dır. Üretilen yeni tip bazalt agregalı lifli referans betonun (BRLB) kombine kür sonrası ortalama Elastisite Modülü 34192 MPa’dır.

Çizelge 4.11’de görüldüğü gibi, üretilen yeni tip bazalt agregalı lifsiz pudra betonun (BPB) 28 gün hava kürü sonrası ortalama Elastisite Modülü 33876 MPa’dır. Üretilen yeni tip bazalt agregalı lifsiz pudra betonun (BPB) 28 gün 20°C su kürü sonrası ortalama Elastisite Modülü 36470 MPa’dır. Üretilen yeni tip bazalt agregalı lifsiz pudra betonun (BPB) kombine kür sonrası ortalama Elastisite Modülü 40122 MPa’dır. Üretilen yeni tip bazalt agregalı lifli pudra betonun (BLPB) 28 gün hava kürü sonrası ortalama Elastisite Modülü 34632 MPa’dır. Üretilen yeni tip bazalt agregalı lifli pudra betonun (BLPB) 28 gün 20°C su kürü sonrası ortalama Elastisite Modülü 37660

MPa'dır. Üretilen yeni tip bazalt agregalı lifli pudra betonun (BLPB) kombine kür sonrası ortalama Elastisite Modülü 41385 MPa'dır.

Tüm beton tiplerinin farklı kürlerde maksimum Elastisite Modülü Şekil 4.8'de gösterilmiştir.



**Şekil 4.8.** Tüm beton tiplerinin farklı kürlerde maksimum Elastisite Modülü

Şekil 4.8'den, en yüksek Elastisite Modülü değerini veren kür tipinin kombine kür olduğu anlaşılmaktadır. Şekil 4.8'de görüldüğü gibi, bazalt agregalı lifsiz pudra betona (BPB) farklı kür uygulanması sonucunda en yüksek ortalama Elastisite Modülü kombine kür sonunda 40122 MPa olarak elde edilmiştir. Bazalt agregalı lifli pudra betona (BLPB) farklı kür uygulanması sonucunda en yüksek ortalama Elastisite Modülü kombine kür sonunda 41385 MPa olarak elde edilmiştir.



## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada beton yol kaplama inşasında bazaltın kullanılabilirliği araştırılmıştır. Tez çalışmasında; bazalt agregalı lifsiz referans beton (BRB), bazalt agregalı lifli referans beton (BRLB), bazalt agregalı lifsiz pudra beton (BPB) ve bazalt agregalı lifli pudra beton (BLPB) olmak üzere 4 tip farklı beton üretilmiştir. Daha önceki çalışmalarda BRB betonun beton yol kaplamasında kullanıldığı bilinmektedir. Diğer BRLB, BPB ve BLPB betonları bu tez çalışmasında üretilen yeni tip rijit üstyapı yol kaplama betonlarıdır. BRB ve BRLB referans betonlarında, C30/37 normal dayanımlı beton sınıfına uygun olarak 0–4 mm, 4–8 mm ve 8–16 mm kırma taş bazalt agregaları kullanılmıştır. Bazalt agregalı lifsiz pudra beton (BPB) ve lifli pudra beton (BLPB) üretimlerinde ise 0–1,0 mm arası kum ve toz (pudra) halinde bazalt agregaları kullanılmıştır. BPB ve BLPB karışımlarında hiçbir şekilde iri bazalt agregası kullanılmamıştır. Çalışmada oluşturulan tüm betonların su/bağlayıcı oranı 0,44 olarak alınmıştır. Tez çalışmasında üretilen betonların 0,44 su/bağlayıcı oranı, şartnamelerde izin verilen 0,45 maksimum su/bağlayıcı oranının altındadır.

### 5.1 Sonuçlar

Çalışmadan aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Bazalt agregalı lifsiz referans betonun (BRB) 28 gün hava kürü sonrası ortalama karakteristik silindir basınç dayanımı 31,4 MPa'dır. Bazalt agregalı lifsiz referans betonun (BRB) 28 gün hava kürü sonrası ortalama eğilme dayanımı 3,8 MPa'dır. Beton yol kaplama şartnamesine göre minimum basınç dayanımının 28 MPa, minimum eğilme dayanımının 4,5 MPa olması istenmektedir. Bazalt agregalı lifsiz referans beton (BRB), 28 gün hava kürü sonrası şartname limitinde istenen basınç dayanımını karşılarsa da, eğilme dayanımını karşılayamamaktadır. Bu nedenle BRB, 28 gün hava kürü sonrası rijit yol kaplamasında kullanılamaz. Bazalt agregalı lifsiz referans betonun (BRB) 28 gün 20°C su kürü sonrası ortalama karakteristik silindir basınç dayanımı 33,3 MPa'dır. Bazalt agregalı lifsiz referans betonun (BRB) 28 gün 20°C su kürü sonrası ortalama eğilme dayanımı 4,0 MPa'dır. Bazalt agregalı lifsiz referans

beton (BRB), 28 gün 20°C su kürü sonrası şartname limitinde istenen basınç dayanımını karşılasa da, eğilme dayanımını karşılayamamaktadır. Bu nedenle BRB, 28 gün 20°C su kürü sonrası rijit yol kaplamasında kullanılamaz. Bazalt agregalı lifsiz referans betonun (BRB) kombine kür sonrası ortalama karakteristik silindir basınç dayanımı 37,4 MPa'dır. Bazalt agregalı lifsiz referans betonun (BRB) kombine kür sonrası ortalama eğilme dayanımı 4,2 MPa'dır. Bazalt agregalı lifsiz referans beton (BRB), kombine kür sonrası şartname limitinde istenen basınç dayanımını karşılasa da, eğilme dayanımını karşılayamamaktadır. Bu nedenle BRB, kombine kür sonrası rijit yol kaplamasında kullanılamaz.

- Üretilen yeni tip bazalt agregalı lifli referans betonun (BRLB) 28 gün hava kürü sonrası ortalama karakteristik silindir basınç dayanımı 34,6 MPa'dır. Üretilen yeni tip bazalt agregalı lifli referans betonun (BRLB) 28 gün hava kürü sonrası ortalama eğilme dayanımı 4,0 MPa'dır. Beton yol kaplama şartnamesine göre minimum basınç dayanımının 28 MPa, minimum eğilme dayanımının 4,5 MPa olması istenmektedir. Bazalt agregalı lifli referans beton (BRLB), 28 gün hava kürü sonrası şartname limitinde istenen basınç dayanımını karşılasa da, eğilme dayanımını karşılayamamaktadır. Bu nedenle BRLB, 28 gün hava kürü sonrası rijit yol kaplamasında kullanılamaz. Üretilen yeni tip bazalt agregalı lifli referans betonun (BRLB) 28 gün 20°C su kürü sonrası ortalama karakteristik silindir basınç dayanımı 36,2 MPa'dır. Üretilen yeni tip bazalt agregalı lifli referans betonun (BRLB) 28 gün 20°C su kürü sonrası ortalama eğilme dayanımı 4,2 MPa'dır. Bazalt agregalı lifli referans beton (BRLB), 28 gün 20°C su kürü sonrası şartname limitinde istenen basınç dayanımını karşılasa da, eğilme dayanımını karşılayamamaktadır. Bu nedenle BRLB, 28 gün 20°C su kürü sonrası rijit yol kaplamasında kullanılamaz. Üretilen yeni tip bazalt agregalı lifli referans betonun (BRLB) kombine kür sonrası ortalama karakteristik silindir basınç dayanımı 38,6 MPa'dır. Üretilen yeni tip bazalt agregalı lifli referans betonun (BRLB) kombine kür sonrası ortalama eğilme dayanımı 4,5 MPa'dır. Bazalt agregalı lifli referans beton (BRLB), kombine kür sonrası şartname limitinde istenen basınç ve eğilme dayanımını karşılamaktadır. Bu nedenle BRLB, kombine kür sonrası rijit yol kaplamasında kullanılabilir.
- Üretilen yeni tip bazalt agregalı lifsiz pudra betonun (BPB) 28 gün hava kürü sonrası ortalama karakteristik silindir basınç dayanımı 37,4 MPa'dır. Üretilen

yeni tip bazalt agregalı lifsiz pudra betonun (BPB) 28 gün hava kürü sonrası ortalama eğilme dayanımı 4,2 MPa'dır. Beton yol kaplama şartnamesine göre minimum basınç dayanımının 28 MPa, minimum eğilme dayanımının 4,5 MPa olması istenmektedir. Bazalt agregalı lifsiz pudra beton (BPB), 28 gün hava kürü sonrası şartname limitinde istenen basınç dayanımını karşılamaktadır, ancak eğilme dayanımını karşılamamaktadır. Bu nedenle BPB, 28 gün hava kürü sonrası rijit yol kaplamasında kullanılamaz. Bu tip betonun dökümden sonra prizini almasından itibaren özellikle ilk 3 gün sulaması yapılırsa yeterli taşıma gücü sağlanabilir. Üretilen yeni tip bazalt agregalı lifsiz pudra betonun (BPB) 28 gün 20°C su kürü sonrası ortalama karakteristik silindir basınç dayanımı 47,8 MPa'dır. Üretilen yeni tip bazalt agregalı lifsiz pudra betonun (BPB) 28 gün 20°C su kürü sonrası ortalama eğilme dayanımı 4,8 MPa'dır. Bazalt agregalı lifsiz pudra beton (BPB), 28 gün 20°C su kürü sonrası şartname limitinde istenen basınç ve eğilme dayanımını karşılamaktadır. Bu nedenle BPB, 28 gün 20°C su kürü sonrası rijit yol kaplamasında kullanılabilir. Üretilen yeni tip bazalt agregalı lifsiz pudra betonun (BPB) kombine kür sonrası ortalama karakteristik silindir basınç dayanımı 64,6 MPa'dır. Üretilen yeni tip bazalt agregalı lifsiz pudra betonun (BPB) kombine kür sonrası ortalama eğilme dayanımı 5,6 MPa'dır. Bazalt agregalı lifsiz pudra beton (BPB), kombine kür sonrası şartname limitinde istenen basınç ve eğilme dayanımını karşılamaktadır. Bu nedenle BPB, kombine kür sonrası rijit yol kaplamasında kullanılabilir.

- Üretilen yeni tip bazalt agregalı lifli pudra betonun (BLPB) 28 gün hava kürü sonrası ortalama karakteristik silindir basınç dayanımı 40,3 MPa'dır. Üretilen yeni tip bazalt agregalı lifli pudra betonun (BLPB) 28 gün hava kürü sonrası ortalama eğilme dayanımı 4,5 MPa'dır. Beton yol kaplama şartnamesine göre minimum basınç dayanımının 28 MPa, minimum eğilme dayanımının 4,5 MPa olması istenmektedir. Bazalt agregalı lifli pudra beton (BLPB), 28 gün hava kürü sonrası şartname limitinde istenen basınç ve eğilme dayanımını karşılamaktadır. Bu nedenle BLPB, 28 gün hava kürü sonrası rijit yol kaplamasında kullanılabilir. Üretilen yeni tip bazalt agregalı lifli pudra betonun (BLPB) 28 gün 20°C su kürü sonrası ortalama karakteristik silindir basınç dayanımı 53,0 MPa'dır. Üretilen yeni tip bazalt agregalı lifli pudra betonun (BLPB) 28 gün 20°C su kürü sonrası ortalama eğilme dayanımı 5,0 MPa'dır. Bazalt agregalı lifli pudra beton (BLPB), 28 gün 20°C su kürü sonrası şartname

limitinde istenen basınç ve eğilme dayanımını karşılamaktadır. Bu nedenle BLPB, 28 gün 20°C su kürü sonrası rijit yol kaplamasında kullanılabilir. Üretilen yeni tip bazalt agregalı lifli pudra betonun (BLPB) kombine kür sonrası ortalama karakteristik silindir basınç dayanımı 71,0 MPa'dır. Üretilen yeni tip bazalt agregalı lifli pudra betonun (BLPB) kombine kür sonrası ortalama eğilme dayanımı 5,8 MPa'dır. Bazalt agregalı lifli pudra beton (BLPB), kombine kür sonrası şartname limitinde istenen basınç ve eğilme dayanımını karşılamaktadır. Bu nedenle BLPB, kombine kür sonrası rijit yol kaplamasında kullanılabilir.

- Tez çalışması sonucunda en yüksek dayanımı veren kür tipinin kombine kür olduğu görülmüştür. Bazalt agregalı lifsiz pudra betona (BPB) farklı kür uygulanması sonucunda en yüksek ortalama karakteristik basınç dayanımı kombine kür sonunda 64,6 MPa olarak elde edilmiştir. Bazalt agregalı lifsiz pudra betona (BPB) farklı kür uygulanması sonucunda en yüksek ortalama eğilme dayanımı kombine kür sonunda 5,6 MPa olarak bulunmuştur. Bazalt agregalı lifli pudra betona (BLPB) farklı kür uygulanması sonucunda en yüksek ortalama karakteristik basınç dayanımı kombine kür sonunda 71,0 MPa olarak elde edilmiştir. Bazalt agregalı lifli pudra betona (BLPB) farklı kür uygulanması sonucunda en yüksek ortalama eğilme dayanımı kombine kür sonunda 5,8 MPa olarak bulunmuştur.

## 5.2 Öneriler

Tez çalışmasında üretilen yeni tip betonların Böhme yüzey aşınma deneyi, donma-çözülme deneyi, yorulma ve darbe deneyleri yapılarak, üretilen bu yeni tip betonların diğer mekanik özellikleri belirlenebilir.

## KAYNAKLAR

- Ağar, E., Öztaş, G., Sütaş, İ., 1998, Esnek yol üst yapıları ile rijit yol üst yapılarının teknik ve ekonomik yönden karşılaştırılması, Teknik Rapor, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, İstanbul, 13–17.
- Aitcin, P. C., 2000, Cements of Yesterday and Today Concrete of Tomorrow, *Cement and Concrete Research*, 30, 1349–1359.
- Akıllı, A., 2012, Bazalt Agregasının Mekanik Özelliklerinin Yol Üstyapısında Kullanımı Açısından İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta, 23–36.
- Akman, Pek, A.N., Akman, M.S., 2012, Kıyı ve Açık Deniz Yapılarında Beton, Maya Basın Yayın Mat.Tic.Ltd. Şti, İstanbul, 17–34.
- Altoubat, S.A., Roesler, J.R., Lange, D.A., Rieder, K.A., 2008, Simplified method for concrete pavement design with discrete structural fibers. *Construction and Building Materials*, 22(3), 384–393.
- Arslan, M., 2007, Beton Yol Kaplamalarında Alternatif Beton ve Yapım Yöntemi Araştırmaları, Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi, Ankara, 9–22.
- Aslan, M., 2018, Mastik Asfalt Üretiminde, Pomza, Perlit ve Ahlat Taşı Agregasının Kullanılabilirliği, Yüksek Lisans Tezi, *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bitlis, 17–57.
- Aslan, M., Bakis, A., 2020, Usability of Pumice, Ignimbrite and Perlite in Stone Mastic Asphalt, *European Journal of Science and Technology*, 18, 743–754.
- Atlas Bir Yapı ve Müh. A.Ş., 2019, <https://atlas1.com.tr> [Ziyaret tarihi: 19 Aralık 2019].
- Bakış, A., 2015, Rijit Yol Üstyapı İnşasında Reaktif Pudra Betonun (RPB) Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Doktora Tezi, *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Erzurum, 35–36.
- Bakış, A., 2016, Rijit Yol Kaplama İnşasında Ahlat Taşı Betonun Kullanılabilirliği, *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 5(2), 164–171.
- Bakış, A., Hattatoğlu, F., 2016, Asfalt yol kaplaması ile sanayi atık lifli reaktif pudra beton yol kaplamasının maliyet karşılaştırması, *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 7(3), 421–432.
- Bakış, A., Hattatoğlu, F., Bayrak, O.Ü., 2017, Reaktif Pudra Beton ile İnşa Edilecek Rijit Yol Kaplamasının Maliyet Hesaplaması, *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 7(1), 183–194.
- Bakış, A., 2018, Atık Çelik Lif Takviyeli Pomza İçeren Reaktif Pudra Betonun Rijit Kaplama İmalatında Kullanımı, *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 7(1), 63–71.
- Balendran, R.V., Zhou, F.P., Nadeem, A., Leung A.Y.T., 2002, Influence of steel fibres on strength and ductility of normal and lightweight high strength concrete, *Building and Environment*, 37, 1361–1367.
- BASF Türk Kimya Sanayi ve Tic. Ltd. Şti., <https://www.basf.com> [Ziyaret tarihi: 19 Aralık 2019].
- Chan, Y.W., Chu, S.H., 2004, Effect of Silica Fume on Steel Fiber Bond Characteristics in Reactive Powder Concrete. *Cement and Concrete Research*, 34, 1167–1172.
- Collepari, S., Coppola, L., Troli, R., Collepari, M., 1997, Mechanical properties of modified reactive powder concrete, *ACI Special Publications*, 173, 1–22.
- Çivici, F., 2006, Çelik Lif Donatılı Betonun Eğilme Tokluğu, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 12(2), 183–188.

- Dal, M., Kılınç, C., Eren, E., Işık, A., 2013, Beton Teknolojisi ve Beton Teknolojisi Laboratuvarı, Mimarlık Vakfı İktisadi İşletmesi, İstanbul, 19–23.
- Dallaire, E., Aitcin, P.C., Lachemi, M., 1998, High-performance powder. *Civil Engineering*, 68(1), 48–51.
- Duyar, O., 2006, Kendiliğinden yerleşen betonlar, *Hazır Beton*, 25–27.
- Erçin, K.A., Kadayıfçı, A., 2013, Diyarbakır Yöresi Bazalt Taşının Yapısal Özelliklerinin İncelemesi, *Süleyman Demirel Üniversitesi, International Technologic Science*, 5(3), 56–59.
- Grassl, P., Wong, H.S., Buenfeld, N.R., 2010, Influence of Aggregate Size and Volume Fraction on Shrinkage Induced Micro-Cracking of Concrete and Mortar, *Cement and Concrete Research*, 40, 85–93.
- Güneşli, U., 2008, Uçucu Kül, Silis Dumanı ve Yüksek Fırın Cürufunun Beton ve Çimento Katkısı Olarak Kullanımı Üzerine Bir Kaynak Taraması, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana, 21–47.
- Güngör, A.G., Sağlık, A., 2008, Karayolları Esnek Üst Yapılar Projelendirme Rehberi, Karayolları Genel Müdürlüğü, Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı, Ankara, 7–9.
- Hattatoglu, F., Bakis, A., 2017, Usability of ignimbrite powder in reactive powder concrete road pavement, *RMPD*, 18(6), 1448–1459.
- İksa İnşaat Katkıları San. ve Tic. Ltd. Şti., <http://www.iksa.com.tr> [Ziyaret tarihi: 19 Aralık 2019].
- İpek, M., 2009, Reaktif Pudra Betonların Mekanik Davranışına Katılma Süresince Uygulanan Sıkıştırma Basıncının Etkileri, Doktora Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya, 31–47.
- Karabulut, A.Ş., 2006, Reaktif Pudra Betonunun (RPB) Özelliklerinin Mineral Katkılarla Geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, 33–51.
- Khaloo, A.R., Afshari, M., 2005, Flexural behaviour of small steel fibre reinforced concrete slabs, *Cement and Concrete Composites*, 27, 141–149.
- Larrard, F., Sedran, T., 1994, Optimization of Ultra-High-Performance Concrete by The Use of A Packing Model, *Cement and Concrete Research*, 24(6), 997–1009.
- Limak Çimento San. ve Tic. A.Ş. <http://www.limak.com.tr> [Ziyaret tarihi: 19 Aralık 2019].
- Macit,S., 2009, Beton Yol İnşaatında Kendiliğinden Yerleşen Betonun Kullanılması Üzerine Bir Araştırma, Doktora Tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Trabzon, 18–29.
- Na-Hyun, Y., Jang-Ho, J.K., Tong-Seok, H., Yun-Gu, C., Jang, H.L., 2012, Blast-Resistant Characteristics of Ultra-High Strength Concrete and Reactive Powder Concrete, *Construction and Building Materials*, 28(1), 694–707.
- Ndepete, C.P., 2017, Bazalt Fiber Katkısının Siltli Zeminlerde Kayma Direncine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya, 12–45.
- Ramyar, K., 2013, Betonda Alkali Silis Reaksiyonu, *Beton 2013, Hazır Beton Kongresi*, İstanbul, 289–311.
- Reda, M.M., Shrive, N.G., Gillott, J.E., 1999, Microstructural Investigation of Innovative UHPC, *Cement and Concrete Research*, 29, 323–329.
- Richard, P., Cheyrezy, M., 1995, Composition of Reactive Powder Concretes. *Cement and Concrete Research*, 25, 1501–1511.
- Richard, P., Cheyrezy, M., 1994, Reactive Powder Concretes with High Ductility and 200–800 MPa Compressive Strength, *Concrete Technology: Past, Present and*

- Future, *Proc. Of V. M. Malhotra Symp.*, ACI SP-144, S. Francisco, USA, 507–518.
- Roux, N., Andrade, C., Sanjuan, M. A., 1996, Experimental Study of Durability of Reactive Powder Concretes, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 8(1), 1–6.
- Sadrekarami, A., 2004, Development of a Light Weight Reactive Powder Concrete. *Journal of Advanced Concrete Technology*, 2(3), 409–417.
- Song, P.S., Hwang, S., 2004, Mechanical properties of high-strength steel fiber-reinforced concrete, *Construction and Building Materials*, 18, 669–673.
- Song, P.S., Hwang, S., Sheu, B.C., 2005, Strength properties of nylon and polypropylene-fiber-reinforced concretes, *Cement and Concrete Research*, 35, 1546–1550.
- Suhaendi, Sofren.L., Horiguchi,T., 2006, Effect of short fibers on residual permeability and mechanical properties of hybrid fibre reinforced high strength concrete after heat exposition, *Cement and Concrete Research*, 36, 1672–1678.
- Swink, M, 2002, Continuous Filament Basalt: Unique Fiber Capable Of Leadership in High Temperature Applications, *Techtextil North Amerika Symposium*, Atalanta, GA, USA,1–16.
- Talebinejad, I., Bassam, S.A., Iranmanesh, A., Shekarchizadeh, M., 2004, Optimizing Mix Proportions of Normal Weight Reactive Powder Concrete with Strengths of 200–350 Mpa, Ultra High Performance Concrete (UHPC), *International Symposium on Ultra High Performance Concrete*, Kassel, Germany, 123–135.
- Tam, C.M., Vivian, W.Y., Tam, K.M., 2012, Assessing Drying Shrinkage and Water Permeability of Reactive Powder Concrete Produced in Hong Kong, *Construction and Building Materials*, 26(1), 79–89.
- Taşdemir, M. A., Bayramov, F., Kocatürk, N., Yerlikaya, M., 2004, Betonun Performansa Göre Tasarımında Yeni Gelişmeler, *Beton 2004 Kongresi*, İstanbul, 24–57.
- Taşdemir, M. A., Bayramov, F., Yerlikaya, M., 2005, Yeni Kuşak Süperakışkanlaştırıcıların Yüksek Performanslı Çimento Esaslı Kompozitlerdeki İşlevleri, *Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyumu*, Ankara, 201–221.
- Taşdemir, Y., Açar, E., 2002, Silindir İle Sıkıştırılabilen Beton Yollar, *Hazır Beton Dergisi*, 9(51).
- Tohumcu İ., Bingöl, A. F., 2013, Silis Dumanı ve Uçucu Kül Katkılı Kendiliğinden Yerleşen Betonların Taze Beton Özellikleri ve Basınç Dayanımları, *DEÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 15(2), 31–44.
- Topçu, İ.B., Karakurt, C., 2005, Reaktif Pudra Betonları, *Türk Engineering News Journal*, 437(3), 25–30.
- TS EN 12390-3, 2010, Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 3: Deney Numunelerinin Basınç Dayanımının Tayini, TSE, Ankara, 13–25.
- TS EN 933-1, 2012, Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneyler- Bölüm 1: Tane Büyüklüğü Dağılımı Tayini- Eleme Metodu, TSE, Ankara, 21–35.
- TS EN 12350-2, 2019, Beton-Taze beton deneyleri-Bölüm 2: Çökme (slump) deneyi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 17–28.
- TS EN 12390-7, 2019, Beton-Sertleşmiş beton deneyleri-Bölüm 7: Sertleşmiş betonun yoğunluğunun tayini, TSE, Ankara, 7–12.
- TS 2824 EN 1338/AC, 2009, Zemin döşemesi için beton kaplama blokları-Gerekli şartlar ve deney metotları, TSE, Ankara, 12–21.
- TS 500/T3, 2014, Betonarme yapıların tasarım ve yapım kuralları, TSE, Ankara, 15–32.
- TS 802, 2009. Beton Karışım Tasarımı Hesap Esasları, TSE, Ankara, 8–12.

- Tunç, A., 2007, Yol Malzemeleri ve Uygulamaları, 2.Baskı, Nobel Yayın Dağıtım, 53–77.
- Ünsal, A., Şen, H., 2008, Beton Kaplama Blokları–Beton Parkeler-Gerekli Şartlar ve Deneysel Metotları (TS 2824 EN 1338), Ulaştırma Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü, Beton ve Beton Malzemeleri Laboratuvar Deneysel, Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı Malzeme Lab. Şubesi Müdürlüğü, Ankara, 7–12.
- Yalçınkaya, Ç., Yazıcı, H., 2011, Agreganın Reaktif Pudra Betonunun Mekanik ve Buzulma Özelliklerine Etkileri, *THBB Beton 2011 kongresi*, İstanbul, 150–159.
- Yazıcı, H., Yardımcı, M.Y., Aydın, S., Karabulut, A.Ş., 2009, Mechanical properties of Reactive Powder Concrete containing mineral admixtures under different curing regimes, *Construction and Building Materials*, 23, 1223–1231.
- Yazıcı, H., Yiğiter, H., Karabulut, A.Ş., Baradan, B., 2008, Utilization of Fly Ash and Ground Granulated Blast Furnace Slag as an Alternative Silica Source in Reactive Powder Concrete, *Fuel*, 87, 2401–2407.
- Yılmaz, Ş., 2015, Cam-Seramik Üretim Teknolojileri Ders Notu, Sakarya Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya, 1–30.
- Yiğiter, H., 2002, Yüksek Performanslı Betonların Süneklik Özelliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 25–39.
- Yiğiter, H., Aydın, S., Yazıcı, H., Yardımcı, M.Y., 2012, Mechanical Performance of Low Cement Reactive Powder Concrete (LCRPC), *Composites Part B: Engineering*, 43(8), 2907–2914.
- Zheng, W., Luo, B., Wang, Y., 2013, Compressive and Tensile Properties of Reactive Powder Concrete with Steel Fibers at Elevated Temperatures, *Construction and Building Materials*, 41, 844–851.



**EKLER****EK-1. ÖZGEÇMİŞ****KİŞİSEL BİLGİLER**

**Adı Soyadı** : Furkan Kınay  
**Uyruğu** : T.C  
**Doğum Yeri ve Tarihi** : BATMAN 06.03.1995  
**Telefon** : 05534992464  
**Faks** :  
**e-mail** : [kinayfurkann@gmail.com](mailto:kinayfurkann@gmail.com)

**EĞİTİM**

<b>Derece</b>	<b>Adı, İlçe, İl</b>	<b>Bitirme Yılı</b>
Lise	: Batman Fatih Anadolu Lisesi	2013
Üniversite	: Harran Üniversitesi	2017
Yüksek Lisans :		
Doktora :		

**İŞ DENEYİMLERİ**

<b>Yıl</b>	<b>Kurum</b>	<b>Görevi</b>
2018	Özok Yapı İnşaat	Şantiye Şefi
2019	İlloğlu İnşaat	Şantiye Şefi
2020	Protov İnşaat	Şantiye Şefi

**UZMANLIK ALANI:** Ulaştırma

**YABANCI DİLLER :** Yökdil Puanı: 56,25

**BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER**

**YAYINLAR**