

T.C.
BİTLİS EREN ÜNİVERSİTESİ VE DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

BETON YOL KAPLAMASINDA PERLİT VE MERMERİN KULLANILABİLİRLİĞİNİN
ARAŞTIRILMASI

Sümevra KAYA ARMAN

OCAK 2020

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

BETON YOL KAPLASINDA PERLİT VE MERMERİN KULLANILABİLİRLİĞİNİN
ARAŞTIRILMASI

Hazırlayan
Sümevra KAYA ARMAN

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Abdulrezzak BAKIŞ

Jüri Üyeleri
Doç.Dr. Nusret Bozkurt
Dr. Öğr. Üyesi Abdulrezzak BAKIŞ
Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Emin ÖNCÜ

OCAK 2020

ONAY

Sümevra Kaya Arman tarafından hazırlanan “**Beton Yol Kaplamasında Perlit ve Mermerin Kullanılabilirliğinin Araştırılması**” adlı tez çalışması 30/01/2020 tarihinde yapılan sınavla aşağıdaki jüri tarafından oybirliği/oyçokluğu ile Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Nusret BOZKURT

(Başkan)

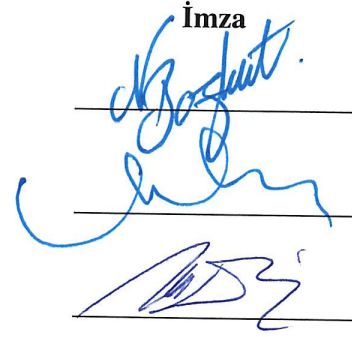
Dr. Öğr. Üyesi Abdulrezzak BAKIŞ

(Danışman)

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Emin ÖNCÜ

(Üye)

İmza



Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun 13.12.2020 gün ve 03/02 sayılı kararı ile onaylanmıştır.


Doç. Dr. Zeki ARGUNHAN
Enstitü Müdürü

BİTLİS EREN ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZ ÇALIŞMASI
ETİK BEYANI

Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre hazırlamış olduğum “**Beton Yol Kaplamasında Perlit ve Mermerin Kullanılabilirliğinin Araştırılması**” adlı tezimin özgün bir çalışma olduğunu, tez hazırlanırken tüm aşamalarda bilimsel etik ilkelerine uygun davrandığımı, tez kapsamında sunulan tüm verileri bilimsel etik ilkelerine uygun elde ettiğimi, tezde faydalandığım tüm eserlere atıf yaptığımı ve kaynaklar kısmında bu eserleri gösterdiğimi beyan ederim. 27/12/2019

Öğrencinin Adı Soyadı

Sümevra Kaya Arman

İmza



ÖZET

BETON YOL KAPLAMASINDA PERLİT VE MERMERİN KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Sümevra Kaya Arman

Yüksek Lisans Tezi

Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Ulaştırma Bilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Abdulrezzak Bakış

Ocak 2020, 69 sayfa

Bu çalışmada mermer tozu ve perlitin, rijit üstyapı kaplama inşasında kullanılabilirliği araştırılmıştır. Araştırma kapsamında farklı agregalar ile lifli ve lifsiz olarak üretilen betonlara farklı küller uygulanmıştır. Uygulanan bu küller ile maksimum basınç ve eğilme dayanımı elde edilmesi hedeflenmiştir. En yüksek eğilme ve basınç dayanımları kombine küre ile elde edilmiştir. Mermer agregalı lifli betonun basınç dayanımı 58,0 MPa, eğilme dayanımı 5,4 MPa olarak bulunmuştur. Ham perlit agregalı lifli betonun basınç dayanımı 74,1 MPa, eğilme dayanımı 8,5 MPa olarak bulunmuştur. Genleştirilmiş perlit agregalı lifli betonun basınç dayanımı 29,7 MPa, eğilme dayanımı 3,5 MPa olarak bulunmuştur. Ayrıca üretilen beton numunelerine SEM, EDX, XRD analizi yapılmıştır. Yapılan analizler ile beton numunesinin içindeki gözenekler, agrega-çimento aderansı ve çelik lif-beton aderansı izlenmiştir. Böylece, betonun elementel analizi ile kullanılan malzemeler irdelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Rijit üstyapı, Mermer tozu, Perlit, Betonda SEM- EDX Analizi, Betonda XRD Analizi

ABSTRACT

INVESTIGATION OF USABILITY OF PERLITE AND MARBLE IN CONCRETE PAVEMENT

Sümeýra Kaya Arman

Master Thesis

Bitlis Eren University Graduate School of Natural Applied Sciences

Department of Civil Engineering Transportation Department

Supervisor: Doctor Lecturer Abdulrezzak Bakış

Ocak 2020, 69 pages

In this study, the usability of marble powder and perlite in rigid pavement construction was investigated. Within the scope of the research, different cures were applied to the fibrous and non-fibrous concretes produced with different type aggregates. It is aimed to obtain maximum compressive and bending strength with the cures. The highest bending and compressive strengths were obtained by combined curing. The compressive and bending strength of the fibrous concrete with marble aggregate was found to be 58.0 MPa and 5.4 MPa. The compressive and bending strength of the fibrous concrete with raw perlite aggregate was 74.1 MPa and 8.5 MPa. The compressive and bending strength of the fibrous concrete with expanded perlite aggregate was 29.7 MPa and 3.5 MPa. In addition, SEM, EDX, XRD analysis were performed on the produced concrete samples. In addition, SEM, EDX, XRD analysis were performed on the concrete samples produced. The pore of structure, aggregate-cement adherence and steel fiber-concrete adherence were observed in the concrete sample. Thus, the materials used with elemental analysis of concrete were evaluated.

Key Words: Rigid pavement. Marble, Perlite, SEM-EDX Analysis in Concrete, XRD Analysis in Concrete

TEŞEKKÜR

Araştırmalarımnda benden desteğini ve yardımını eksik etmeyen, yaşadığım olumsuzluklarda hoşgörü ile yaklaşan bilgi ve birikimini her fırsatta benimle paylaşan danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Abdulrezzak Bakış'a teşekkür eder saygılarımı sunarım.

SEM-EDX-XRD analizlerimi yorumlamamda yardımlarını esirgemeyen Sayın Doç. Dr. Mustafa Okumuş hocama teşekkür eder saygılarımı sunarım.

Çalışmalarımnda malzeme desteği veren İnper Perlit İnşaat Sanayi ve Ticaret Ltd. Şti. ye ve İksa Ltd. Şti. ye teşekkür eder saygılarımı sunarım.

Çalışmalarımı destekleyen ve her zorlukta yanımda olan sevgili eşim Yasin Arman'a ve varlığı ile beni cesaretlendiren canım oğlum Mahi Arman'a teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	iv
ÇİZELGELER DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
KISALTMALAR DİZİNİ	viii
1. GİRİŞ	1
1.1. Karayolları Kaplama Türleri.....	1
1.2. Kaplama Tipi ve Kalınlığına Etki Eden Faktörler	2
1.3. Rijit ve Esnek Kaplamaların Avantaj ve Dezavantajlarına Göre Kıyaslanması.....	3
1.4. Dünyada Beton Yol	5
1.5. Türkiye’de Beton Yol	6
1.6. Reaktif Pudra Beton	6
1.7. Reaktif Pudra Betonda Kullanılan Malzemeler ve Üretim Teknikleri	7
2. MATERYAL VE YÖNTEM	13
2.1. Lifsiz Beton Üretim Malzemeleri	14
2.2. Lifli Beton Üretim Malzemeleri	20
2.3. Kontrol Numunesi Beton Üretim Malzemeleri	21
2.4. Lifsiz Beton Karışım Miktarları	21
2.4.1. İdeal lifsiz reaktif pudra beton karışım miktarları.....	21
2.4.2. Mermer agregalı lifsiz beton karışım miktarları	22
2.4.3. Ham perlit agregalı lifsiz beton karışım miktarları	23
2.4.4. Genleştirilmiş perlit agregalı lifsiz beton karışım miktarları	24
2.4.5. Lifsiz kontrol betonu karışım miktarları	25
2.5. Lifli Beton Karışım Miktarları.....	25
2.5.1. İdeal Lifli RPB Karışım miktarları.....	25
2.5.2. Mermer agregalı lifli beton karışım miktarları.....	26
2.5.3. Ham perlit agregalı lifli beton karışım miktarları	27

2.5.4. Genleştirilmiş perlit agregalı lifli beton karışım miktarları	27
2.5.5. Lifli Kontrol Betonu Karışım miktarları	28
2.6. Beton Kür Uygulamaları.....	29
2.7. Basınç Deneyleri.....	29
2.8. Eğilme Deneyleri	30
2.9. SEM ve EDX Analizleri	32
2.10. XRD Analizleri	32
2.11. Elek Analizi	32
3. ARAŞTIRMA BULGULARI	34
3.1. Basınç ve Eğilme Deneyleri.....	34
3.1.1. Lifsiz ve lifli beton basınç ve eğilme deneyleri	34
3.1.1.1. Kontrol numunesi beton basınç ve eğilme deney sonuçları.....	34
3.1.1.2. Mermer betonu basınç ve eğilme deney sonuçları	35
3.1.1.3. Ham perlit betonu basınç ve eğilme deney sonuçları	35
3.1.1.4. Genleştirilmiş perlit betonu basınç ve eğilme deney sonuçları.....	36
3.2. Basınç ve Eğilme Deneyleri Genel Sonuçları.....	36
3.3. XRD Analizleri	38
3.4. SEM Analizleri	41
3.5. EDX Analizleri	46
4. SONUÇ VE ÖNERİLER	50
5. KAYNAKLAR.....	53
EK 1. RESİMLER.....	58
ÖZGEÇMİŞ.....	68

ÇİZELGELER DİZİNİ

ÇİZELGELER

Sayfa

1.1. Reaktif pudra betonunda kullanılan tipik malzemeler ve miktarları	8
1.2. RPB numuneleri karışım miktarları.....	9
1.3. RPB numunelerinde deney sonuçları	9
1.4. Normal, Yüksek Dayanımlı ve RPB Karşılaştırılması	9
2.1. CEM I 42,5 N kimyasal özellikleri.....	14
2.2. CEM I 42,5 N fiziksel ve mekanik özellikleri.....	15
2.3. Silis Dumanı kimyasal özellikleri	16
2.4. Master Glenium- 128 süperakışkanlaştırıcı özellikleri.....	17
2.5. Perlitin fiziksel özellikleri	19
2.6. Perlitin kimyasal özellikleri.....	19
2.7. Beton üretiminde kullanılan çelik fiber teknik özellikleri.....	20
2.8. Tipik RPB 200 ve RPB 800 betonların çimentoya göre karışım oranları	21
2.9. İdeal Lifsiz beton karışım miktarları	22
2.10. Lifsiz Mermer agregalı beton karışım miktarları	23
2.11. Lifsiz- Ham Perlit karışım miktarları	24
2.12. Lifsiz- Genleştirilmiş Perlit karışım miktarları	24
2.13. Lifsiz- Kontrol betonu karışım miktarları	25
2.14. İdeal Lifli RPB karışım miktarları.....	26
2.15. Lifli- Mermer betonu karışım miktarı	26
2.16. Lifli- Ham Perlit karışım miktarları	27
2.17. Lifli- Genleştirilmiş Perlit karışım miktarları.....	28
2.18. Lifli- Kontrol betonu karışım miktarları.....	28
2.19. Kontrol betonu elek analizi	33
3.1. Kontrol betonu basınç ve eğilme deney sonuçları.....	34
3.2. Mermer betonu basınç ve eğilme deney sonuçları	35
3.3. Ham perlit betonu basınç ve eğilme deney sonuçları	35
3.4. Genleştirilmiş perlit betonu basınç ve eğilme deney sonuçları	36
3.5. Lifli ve lifsiz betonların basınç ve eğilme deneyi sonuçları.....	37
3.6. Mermer betonu XRD sonuçları	39
3.7. Genleştirilmiş perlit betonu XRD sonuçları	41

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>ŞEKİLLER</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Çimento	14
2.2. Mermer tozu	15
2.3. Silis dumanı	16
2.4. Süperakışkanlaştırıcı.....	17
2.5. Ham perlit	18
2.6. Genleştirilmiş perlit	18
2.7. Çelik lif.....	20
2.8. Basınç deneyi şekilsel görünümü	30
2.9. Eğilme deneyi şekilsel görünümü.....	31
2.10. Kontrol betonu elek analizi grafiği.....	33
3.1. Mermer betonu XRD grafiği (a) lifsiz beton (b) lifli beton.....	38
3.2. Ham perlit betonu XRD grafiği (a) lifsiz beton (b) lifli beton	39
3.3. Genleştirilmiş perlit betonu XRD grafiği (a) lifsiz beton (b) lifli beton	40
3.4. Mermer-lifsiz beton SEM görüntüsü.....	41
3.5. Mermer-lifli beton SEM görüntüsü	42
3.6. Ham perlit-lifsiz beton SEM görüntüsü	43
3.7. Ham perlit - lifli beton SEM görüntüsü.....	44
3.8. Genleştirilmiş perlit - lifsiz beton SEM görüntüsü.....	45
3.9. Genleştirilmiş perlit - lifli beton SEM görüntüsü.....	46
3.10. Mermer - lifsiz beton (a) SEM görüntüsü (b) EDX grafiği.....	47
3.11. Mermer - lifli beton (a) SEM görüntüsü (b) EDX grafiği.....	47
3.12. Ham perlit - lifsiz beton (a) SEM görüntüsü (b) EDX grafiği.....	48
3.13. Ham perlit - lifli beton (a) SEM görüntüsü (b) EDX grafiği.....	48
3.14. Genleştirilmiş perlit - lifsiz beton (a) SEM görüntüsü (b) EDX grafiği.....	48
3.15. Genleştirilmiş perlit - lifli beton (a) SEM görüntüsü (b) EDX analizi.....	49

KISALTMALAR DİZİNİ

RPB	Reaktif Pudra Betonu
NDB	Normal Dayanımlı Beton
YDB	Yüksek Dayanımlı Beton
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
EDX	Enerji Yayımlı X-Işını Analizi
XRD	X-Işını Difraktometresi



1. GİRİŞ

Ulaşım, insan veya eşyanın, ihtiyaçlarını gidermek amacıyla zaman ve mekân faydası sağlayacak şekilde yer değiştirmesini mümkün kılan bir hizmettir. Ülkelerin kalkınma seviyesinin bir ölçütü de sahip olduğu ulaşım ağının büyüklüğüdür. Ancak bir ülkenin ulaşım ağının büyümesi ve ulaşımın kolaylaşmasının sağlanabilmesi için; tüm ulaştırma türlerinin (kara, deniz, hava, demiryolu) ülkenin sahip olduğu geoteknik özellikler doğrultusunda birbirleri ile koordinasyon içinde olmalıdır. Yalnızca böyle bir bütünlük halinde ülke çapında hızlı, güvenilir, kolay ve ekonomik bir ulaştırma hizmeti sağlanabilir [1].

İhtiyaçlara uygun bir karayolunda, can ve mal güvenliği, insanların konforu ve yol üst yapısının uzun ömürlü olması ilk koşul olarak sağlanmalıdır. Bir ülkenin ulaşım ağının yeterli ve yüksek standartta olması o ülkenin gelişmişliğinin göstergesidir. Ülkemiz gelişmiş ülkeler ile kıyaslandığında ulaşım ağının yetersiz olduğu ancak ağır taşıt trafiğinin artmakta olduğu görülmektedir. Ağır taşıt trafiğinin artması da, yol üstyapısının bozulmasında etkin bir rol oynamaktadır [2].

Karayolu altyapısı; yapımı tamamlanmış bir karayolunda, tesviye yüzeyi ile doğal zemin çizgisi arasındaki bölgeye denilmektedir. Altyapı, yolun dolgu kesimlerinde, dışarıdan getirilen toprak ile oluşturulmuş bir toprak gövde, yarma kesimlerinde ise doğal zemindir. Ancak, kazı işleminden sonra istenilen düzlüğü ve eşit yük dağılımını sağlamak amacıyla döşenen ve sıkıştırılan toprakda, yarma kesimindeki altyapıya dâhildir [3].

Karayolu üstyapısı; önceden belirlenen geometrik standartlara göre saptanmış güzergâh boyunca, doğal zeminin istenilen yükseltilere getirilebilmesi ve üzerinde motorlu taşıtların istenilen hız, güvenlik ve konfor koşullarında hareketlerinin sağlanabilmesi amacıyla inşa edilen yapıların tümü karayolu üstyapısını oluşturur [3].

1.1. Karayolları Kaplama Türleri

Karayolu üstyapıları; esnek ve rijit olmak üzere iki grupta oluşturulmaktadır [4]. Esnek üstyapı; kaplama, temel ve alttemel tabakası olmak üzere 3 tabakadan oluşmaktadır. Yüksek standartlı yollarda kaplama tabakası aşınma ve binderden oluşan iki tabaka şeklinde bitümlü karışımdan, düşük standartlı yollarda ise tek kat veya çift kat sathi kaplama olarak yapılmaktadırlar. Yüksek standartlı karayolu ve otoyolları bitümlü sıcak karışımlara sahip tabakalar ile yapılmaktadır [5].

Rijit üstyapı, alt temel ve üzerine yapılan beton kaplamadan meydana gelmektedir. 20 yıllık proje ömrü içinde, standart dingil yükü sayısı $60-75 \times 10^6$ 'dan fazla olan yollar ve büyük yolcu uçaklarının yıllık 5 000'den fazla kalkış yapan havaalanlarının rijit kaplama yapılma zorunluluğu bulunmaktadır. Birçok kurum, yolun trafiğe açıldığında tek yöndeki günlük ticari taşıt sayısının 5 000'den fazla olması halinde beton kaplama yapılmasını öngörmektedir [6].

1.2. Kaplama Tipi ve Kalınlığına Etki Eden Faktörler

Kaplama tipi ve kalınlığına etki eden faktörler aşağıda belirtilmiştir [6]:

A. Trafik etkileri

Trafik hacmi, kompozisyonu ve trafiğin gelecekteki durumu
Dingil ağırlığı (karayolu için) ve teker ağırlığı (havaalanı için)
Teker geometrisi veya dingil ağırlığı
Lastiğin yüzey temas alanı ve uyguladığı basınç
Tekrar eden yük sayısı
Yükün uygulama süresi

B. İklim ve çevre etkileri

Mevsimsel ve günsel olarak sıcaklık değişimi, yağış türü ve miktarı, don derinliği
Kaplamanın servis ömrü boyunca karşılaşılabileceği en büyük ve en küçük ısı
Yapılan drenajın özellikleri ve uzun dönemde oturma
Zeminin donmaya karşı davranışı, mevsimsel sıcaklık değişimlerinin etkileri
Kullanım sonucunda düşen zemin taşıma direnci

C. Malzeme

Kaplamanın içerdiği malzemelerin (agrega, bitüm, beton) fiziksel özellikleri
Kaplamanın yük dağıtma kabiliyeti, deformasyon direnci, mukavemeti, vb. özellikleri
Malzeme karakteristiklerinin zamanla değişimi (aşınma direnci, durabilite, vb. özellikleri)
Kaplamanın yorulma mukavemeti
Kaplamanın içeriğindeki malzemelerin mekanik özellikleri
Malzeme kombinasyonu

D. Yapım ve Bakım Şartları

Kaplama tabakasının dizaynı (kaplama kalınlıkları ve türü)

Kaplamanın yapımında gözetilen kalite yönetimi

Bakım-onarım sıklığı ve gözetilen kalite standardı

Trafik yüklerinin kontrol edilmesi ve gerektiğinde sınırlandırılması

Kaplama türü gözetilmeksizin bir kaplamada aranan en temel aranan özellik performans ve stabildir. Bunun yanında;

1. Taşıtlar için yüzeylerin düzgün ve pürüzsüzlüğü sağlanmalı, sürüş konforu arttırmalı ve taşıt işletme giderlerini azaltmalıdır.
2. Kaplama emniyetli bir sürüş için yeterli bir kayma mukavemetine sahip olmalıdır.
3. Trafik yüklerinden kaynaklanan aşınmalara ve bozulmalara karşı optimum direnç sağlanmalıdır.
4. Trafik yüklerini yayarak zemine iletilmeli fakat bu yüklerle karşı mukavemetli olmalıdır.
5. Bakım-onarım giderlerinin düşük olması, yorulma mukavemeti yeterli bir seviyede olmalıdır.
6. Kaplama, zeminde istene gerilemelere karşı koyabilmeli bunun yanında yorulmaya karşı dirençli olabilmesi için kalınlığının yeterli olması
7. Zemin mevsimsel değişimlerden kaynaklanan gerilmelere karşı koyabilmelidir.
8. Yağmur sularının sızmasını önleyebilecek kadar geçirimsiz tabakalardan oluşmalıdır [6].

1.3. Rijit ve Esnek Kaplamaların Avantaj ve Dezavantajlarına Göre Kıyaslanması

Rijit kaplamalar taşıt trafiğinin yüksek ve ağır taşıt trafiğinin hakim olduğu yollarda, esnek kaplamalar ise düşük trafik hacminin olduğu yollar için tercih edilmelidir.

Rijit kaplamaların yapım masrafları yüksek ancak bakım masrafları düşüktür buna karşın esnek kaplamaların yapım masrafı düşük bakımı ise daha yüksektir.

Her iki kaplamada kuru halde yaklaşık olarak aynı kayma direncine sahip olmakla birlikte yağışlı havalarda bu durum beton asfalt kaplamalar için olumsuz olmaktadır. Ancak sathi kaplamaların kayma direnci çok yüksek olmasının yanında sürüş konforu düşük teker gürültüsü ile taşıt işletme giderleri ise oldukça yüksektir.

Rijit kaplamalar ile beton asfalt (yüksek kaliteli esnek kaplama) kaplamalarda yuvarlanma direnci düşük iken sathi kaplamalarda (düşük kaliteli esnek kaplama) ise daha yüksektir.

Yuvarlanma direncinin yüksek olması taşıt işletme giderlerini, lastik ve araç yıpranmasını önemli ölçüde artırır ve sürüş konforunu azaltır.

Rijit kaplamaların yapımı plakalar halinde olduğundan plakalar arası derzler sürüş konforunu azaltır ve teker gürültüsünü artırır. Beton asfalt yollarda ise sürüş konforu yüksek ve teker gürültüsü az iken sathi kaplamalarda sürüş konforu nispeten daha düşük ve teker gürültüsü fazladır.

Rijit kaplamaların bakım ve onarımlarının uzun sürmesi sebebiyle servis yoluna ihtiyaç vardır. Buna karşılık esnek kaplamaların onarımları ve yeniden kaplanmaları sırasında dahi yol trafiğe açık tutulabilmektedir.

Rijit kaplamaların yapımı tamamen yerli malzeme ve az enerji ile mümkün iken esnek kaplamaların yapımı için yüksek enerji gerekir ve bağlayıcı maddesi olan asfalt çimentosu önemli ölçüde ithal edilmektedir.

Rijit kaplamaların yapımı için zor ve titiz bir çalışma gerekirken esnek kaplamaların yapımı ise daha kolay ve çabuktur.

Esnek kaplamalarda kademeli inşaat yapılabilir iken rijit kaplamalar için bu mümkün değildir.

Esnek kaplamaların inşası için kuru yüzey ve yüksek hava sıcaklığı (15 C' den fazla) gerektiğinden yapım süresi kısıtlıdır. Rijit kaplamalarda ise bu durum bir sorun oluşturmaz. Bu yüzden rijit kaplamalar yağış ve don olmamak şartıyla daha uzun inşaat mevsimine sahiptir.

Rijit kaplama tesisleri esnek kaplama tesislerine göre daha ucuz daha basit ve daha yüksek kapasitelere sahip olmasının yanında yerli üretimleri de mevcuttur.

Beton üretimi bitümlü sıcak karışımların üretiminden daha kolay olduğu için kalite kontrol için daha az emek, zaman ve maliyet gerektirir.

Çimento fabrikaları genellikle petrol rafinerilerinden daha yakın mesafede oldukları için taşıma maliyetleri daha azdır. Bu yüzden rijit kaplamalar taşıma maliyetleri açısından daha avantajlıdır.

Rijit kaplamalar açık renge sahip olduğundan gece fark edilmesi daha rahattır, gündüz parlayarak rahatsız ederler. Esnek kaplamalar ise koyu renge sahip olduklarından gece zor farkedilir gündüz parlama durumları yoktur. Bu durum rijit kaplamayı daha avantajlı yapmaktadır [6].

Gelişen teknoloji ile rijit kaplamalar günümüzde dünya genelinde yaygınlaşmaktadır. Yukarıda saydığımız avantajları bunun daha da artmasına imkan vermektedir.

1.4. Dünyada Beton Yol

İlk olarak Romalılar M.Ö.I. yüzyılda yollarda taşları birbirine bağlamak için puzolanik bağlayıcılar kullanmışlardır. İlk beton yollar ABD’de yapılmıştır. 1891 yılında Ohio’da bir sokakta yapılan beton yol bilinen en eski beton yoldur [7].

Çok fazla hesaba dayanmayan bu yollardan sonra 1920’li yıllarda mühendislik hesaplarına sahip yollar yapılmıştır. Daha sonra alt zemin problemleri ortaya çıkmış ve alt zeminleri tasarıma dâhil edilen beton yollar inşa edilmiştir [7].

Tam anlamıyla mühendislik açısından beton yollara 1933 yılından itibaren girilmiştir. Almanya’da işsizlikle mücadele etmek için ve askeri birimlerin hızlı ve güvenli bir şekilde ulaşmalarını sağlamak amacıyla ilk beton otoyol şantiyeleri kurulmuştur. Daha sonra Avrupa’da Belçika ve Fransa, beton otoyol yapımına başlamışlardır. Avustralya’da ise ilk beton kaplamanın 1880 yılında yapıldığı ve bu yolun 50 yıl kadar hizmet verdiği anlaşılmaktadır [7].

Kalite standartları, deforme olmayan kalıplar ve beton santralleri sayesinde garanti altına alınmaya başlandığından beton yol yapımı hız kazanmıştır. Bu sayede 1960’lar ve 1970’lerde ABD’de 70.000 km’lik beton yol ağı bitirilmiştir. ABD’de başlayan bu gelişmeler, Almanya, Belçika ve Japonya’da da devam etmiştir. Beton yol teknolojisinde yaşanan hazır beton, kayar kalıp, geçirimli beton, lifli beton, ön gerilmeli beton, sürekli betonarme gibi yenilikler ve hızlı gelişmelerle beton kaplama, günümüzün modern yolları için asfalt kaplamalara karşı vazgeçilmez bir seçenek haline gelmiştir [7].

Avrupa’da beton yol uygulamaları geçtiğimiz yüzyıl başlarından itibaren, Belçika’da 1920 yılından, Almanya’da 1930 yılından sonra yaygın olarak yapılmaya başlanmıştır. Bugün Belçika’da köy yollarının bile %60’ı beton yoldur. Fransa’da ise eski yolların yenilenmesinde ve yeni yolların yapımında beton kaplamaya geçiş vardır. Avusturya’da ise daha köklü bir beton yol yapımı geleneği vardır. Almanya’da yol ihalelerinde genellikle beton kaplamanın, asfalt kaplamaya bir alternatif olarak ihale dosyalarında yer aldığı görülmektedir. Genelde Avrupa ülkelerinde, özellikle ağır trafiğe maruz yollarda zincir veya çivili lastik kullanımı gerektiren bölgelerde beton kaplama tercih edilmektedir.

Asya’da Japonya ve Çin’de beton yollar yapılmaktadır [8]. Japonya’da yapılan ilk beton yollar servis ömürleri ve bakım-onarımındaki ekonomik avantajları ile uzun süreden beri kullanılmaktadır. Tüm dünya da beton yollar gerek kullanım ömürleri gerekse ağır taşıt trafiğinin yoğun olduğu yerlerde tercih edilebilmesi ve asfalt yollara ekonomik bir alternatif olmasından dolayı ülkemizin aksine uzun yıllardan beri yapılarak zaman içinde farklı teknikler ile geliştirilmiş olup insanlığın hizmetine sunulmuştur.

1.5. Türkiye’de Beton Yol

Türkiye’de yapılan ilk beton yol 17 Haziran 2004’te tamamlanan Afyon Emirdağ arasındaki, Afyon’a gidiş mevkiinde 2 km uzunluğundaki beton yoldur [8]. Daha sonra Ağustos 2006’da inşası tamamlanan, Hasdal Kemberburgaz yolunda 3,5 km uzunluğundaki beton yol yapılmıştır [8].

Çimsa Eskişehir fabrikasının önünden geçen Eskişehir-Bursa karayolundaki trafik yoğunluğunu azaltmak ve fabrikaya giriş yapan taşıtlara güvenli bir yol sağlamak amacıyla 1,5 km uzunluğunda üzerinden günde 800 ağır taşıtın geçmesi beklenen beton yol 30 senelik kullanım ömrü olacak şekilde yapılmıştır. Denizli Üstyapı Projesi kapsamında şehrin ana arterlerine çelik lifli silindire sıkıştırılmış beton yol, ara sokaklarına ise poroz beton ve kilit parke taşı uygulaması yapılmıştır. Karamürsel şehir geçişinde 2,5 km uzunluğundaki (gidiş-geliş toplam 5 km) bölünmüş yol beton yol olarak imal edilmiştir. Bu yol Karayolları Genel Müdürlüğü tarafından yapılan ilk beton yol uygulaması olmaktadır. Ordu–Ulubey Devlet Yolunda, Karayolları Genel Müdürlüğü ile Ulusal Bor Araştırma Enstitüsü (BOREN) arasında imzalanan protokolle Km:5+000 - 6+000 arasında beton yol deneme kesimi yapılmıştır. Beton yol, sathi kaplamalı bölünmüş yolun sadece bir tarafına ve mevcut sathi kaplama üzerine yapılmıştır. Bu kesimde beton plak kalınlığı 28 cm, platform genişliği 1,0 m olarak belirlenmiş olup; iç banket, 2×3,5 m taşıt şeridi ve 2,50 m dış banket olmak üzere toplam 10,50 m’dir. Ayrıca yapılan çalışmada bor katkılı çimentonun performansının gözlemlenmesi için yolun 700 m’ lik kısmı bor katkılı çimento ile 300 m’ lik kısmı ise normal katkısız çimento ile yapılmıştır [8].

1.6. Reaktif Pudra Beton

Çimentolu kompozitlerin yüksek mekanik özelliklere ulaşabilmesi için günümüze kadar birçok araştırma yapılmıştır. Ancak ilk olarak yapılan çalışmaya baktığımızda 1930’lu yıllarda Eugene Freyssinet taze betona priz sürecinde iken basınç uygulanmasının, basınç dayanımını arttırdığını gözlemlenmiştir. 1960’lı yıllarda ise yüksek sıcaklık ve arttırılan basınç ile yapılan kür uygulamaları beton dayanımını 650 MPa’ ya yükseltmiştir [9].

Reaktif Pudra Beton; çimento, silis dumanı, kuvars kumu, kuvars tozu, çelik lifler, su ve süperakışkanlaştırıcılar ile özel kürler uygulanarak oluşturulan, yüksek basınç ve eğilme dayanımına sahip yüksek performanslı kompozit bir malzemedir. İnce agregalar kullanılarak betondaki mikro boşluklar azaltılıp, betonun basınç ve eğilme dayanımları arttırılmıştır. RPB’ da dane çapı küçük olan agregalar kullanıldığında normal betonda kullanılan iri agregaların

oluşturduğu boşluk yapısı önemli ölçüde azaltılmıştır. Buda RPB' un porozitesini azaltır, donma ve çözülmeye karşı dayanımı artırır. RPB karışımında, çok ince agrega ile silis dumanı kullanılması agrega ile çimento arasındaki mekanik özelliklerin iyileşmesine katkıda bulunmuştur. Boşlukların azaltılması ile betonda doluluk oranının artması sağlanmıştır [10].

Normal beton kompozitleri ile kıyaslandığında RPB' un düşük boşluk oranı, homojen yapısı ve güçlü çimento matrisi dikkat çekmektedir. RPB yapısal olarak incelendiğinde YDB' a nazaran daha sıkı bir tane düzenine sahiptir. Bu da RPB' u YDB' a göre daha dayanıklı bir malzeme konumuna getirmektedir. RPB, oldukça düşük geçirimsizliğe sahip, sünek, iyileştirilmiş mekanik ve fiziksel özelliklere sahip, ultra yüksek dayanımlı kompozit bir malzemedir [11, 12]. Ayrıca çelik lif katkısı yapılarak güçlendirilen RPB' da çelik lifler ne kadar homojen dağılırsa eğilme dayanımı da o kadar yüksek olur [13]. RPB, YDB' a alternatif olmakla birlikte sektörde çelik ile yarışabilecek potansiyele sahip bir malzeme konumuna gelmiştir. RPB' un sünek kırılma sistemi, malzemeye doğrudan etki eden eğilme gerilmelerinin karşılanması için, karışımında donatı kullanılmasına gerek bırakmamaktadır. Kesit ağırlıklarının azalmasından dolayı hafifleyen yapı elemanları yapıya etkileyen deprem kuvvetlerinin azalmasına katkı sağlayarak, yapının deprem dayanımını artırmaktadır. RPB' da kullanılan kuvars kumu ve pudrası gibi ince kum normal betondaki kaba agreganın yerine, Portland çimentosu ince agreganın yerine ve SD çimentonun görevini üstlenmektedir [14]. RPB, özellikle yapı yükünün azaltılması ve yüksek dayanımın gerektiği yerlerde kullanılmalıdır [15]. Bu şekilde yüksek basınç ve eğilme dayanımına sahip RPB üretimiyle beton yol, kolon, kiriş ve döşeme gibi yapı eleman kesit boyutları düşürülerek daha hafif yapılar oluşturulmakta, böylece yapıya etkileyen deprem kuvvetleri azalarak yapının deprem direnci artırılmış olmaktadır [16].

RPB çok düşük w/c oranına sahip, yüksek oranda bağlayıcı ve pudra içeren, kısa kesilmiş çelik teller ile süneklik iyileştirmesi yapılmış ultra yüksek dayanımlı betonlardır. Kompakt yapısı sayesinde su ve zararlı solüsyon geçirimsizliğinin düşük olduğu bu kompozit, kalıcılığı açısından da yüksek performanslı olarak nitelendirilmektedir. Agrega hacminin artışıyla işlenebilirlik ve büzülmeler azalmaktadır. Agrega hacmi artışı ile RPB' un erken yaş bünyesel ve kuruma büzülmeleri, ayrıca uzun dönemli büzülmeler kısıtlanmaktadır. %48 agrega hacmine sahip karışımlarda da basınç ve eğilme dayanımları açısından yüksek performans sağlanmıştır [17].

1.7. Reaktif Pudra Betonda Kullanılan Malzemeler ve Üretim Teknikleri

RPB en genel ifade ile mikro yapı mühendisliği yaklaşımı ile üretilmiş kompozit bir malzemedir. RPB üretilirken aşağıdaki dört ana unsur gözetilir [18]:

Agrega dane çapının çok ince olması ile kullanılan malzemenin homojenliğinin en yüksek seviyede tutulması,

İyi bir sıkıştırma işlemi ile boşluksuz beton yapısının elde edilmesi

Mikro yapının sıcaklık ile geliştirilmesi

Malzemenin sünekliliğinin çelik lif katkısı ile artırılması.

RPB, NDB ile aynı teknikte karıştırma ve sıkıştırma yöntemi ile üretilir. Ancak karma suyu karışıma parça parça ve dikkatli şekilde ilave edilmelidir. Agregası ve çimento karışımı ilk olarak kuru haliyle en az 3 dakika karıştırılıp homojenlik sağlanmalıdır. Sonra kuru haldeki karışıma karma suyu ve sıvı formdaki katkı malzemesinin yarısı eklenip 5 dakika daha karıştırılmalıdır. Daha sonra sıvı karışımın (su ve süperakışkanlaştırıcı) kalan yarısı eklenip tekrar 5 dakika daha karıştırılmalıdır. Bu uygulama ile üniform yapıda, kalıba yerleştirilmeye hazır taze beton elde edilebilmektedir [19].

RPB' un kalıplama işlemi bittikten sonra kür uygulamalarına geçilmelidir. Elde ettiğimiz kompozit malzemenin sıkılığını basınç kuvveti uygulayarak arttırmak mümkündür. Bu işlem sonucunda betonun birim ağırlığı %5 oranında arttığı gözlemlenmiştir [20].

Sıcak kür uygulaması; çimento esaslı malzemelerin mekanik özelliklerinin geliştirilmesinde uygulanan en eski yöntemlerden biri olarak klasik bir kür olmuştur. Hidratasyona maruz kalacak malzemelerin iyi kristalleşmesi ve silis içeren malzemelerin puzolanik reaksiyona başlaması yüksek sıcaklık ile mümkün olmaktadır [21].

Çizelge 1.1. Reaktif pudra betonunda kullanılan tipik malzemeler ve miktarları

Kullanılan Malzeme	Miktar (kg/m³)
Çimento	705
Silis Dumanı	230
Kırılmış Kuvars Kumu	210
Kum	1010
Süperakışkanlaştırıcı	17
Çelik Lif	190
Su	195

Kanada Quebec'de RPB ile inşa edilen bir köprüde 200 MPa basınç dayanımı veren karışımdaki malzeme ve miktarları Çizelge 1.2'de verilmiştir [22].

Çizelge 1.2. RPB numuneleri karışım miktarları

Kullanılan Malzeme	Miktar (kg/m³)
Çimento PÇ 52,5	980
Silis Dumanı	225
Kum (600–150 µm)	490
Kuvars Unu (4 µm)	382
Çelik Tel (6 mm)	320
Süperakışkanlaştırıcı	19
Su	186

Çizelge 1.2’ deki malzeme oranları kullanılarak Düzgün (2004) çalışmasında elde edilen sonuçlar Çizelge 1.3’te gösterilmektedir [22].

Çizelge 1. 3. RPB numunelerinde deney sonuçları

Deney Numunesi	Eğilme Dayanımı (MPa)	Basınç Dayanımı (MPa)
Seri 1	58,75	216,3
Seri 2	63,67	253,2
Seri 3	53,88	216,3

Normal, yüksek dayanımlı ve RPB karşılaştırılması Çizelge 1.4’ de görülmektedir [23]:

Çizelge 1.4. Normal, Yüksek Dayanımlı ve RPB Karşılaştırılması

Mekanik Özellikler	NDB	YDB	RPB
Basınç Dayanımı (MPa)	20-60	60-115	200-800
Eğilme Dayanımı (MPa)	4-8	6-10	50-140
Kırılma Enerjisi (J/m ²)	100-120	100-130	10000-40000
Elastisite Modülü (GPa)	20-30	35-40	60-75

1.8. Önceki Çalışmalar

Atık olarak değerlendirilmesi mümkün olan mermer tanecikleri, mermer bloklarının ocaktan çıkarılması esnasında veya fabrikalarda kesilirken meydana gelen, dane boyutu ortalama olarak 5

um olan bir endüstriyel atıktır. 2014 yılında küresel mermer ve granit üretimi 155 milyon ton olarak ölçülürken, ağırlıkça %20 - %30 oranında mermer tozu üretildiği tahmin edilmektedir [24, 25].

Mermer fabrikalarından ortaya çıkan atıkların kullanılabilmesi hem çevresel açıdan kirlilik sorunlarının azaltılması hem de endüstriyel açıdan kazanç sağlamaktadır. Bundan dolayı mermer atıklarının değerlendirilmesinde ki alternatifler, mermer işletmecilerine ve aynı zamanda ülke ekonomisine kaynak sağlamanın yanında bu işletmelerin çevre kirleticisi özelliğini de büyük oranda ortadan kaldıracaktır [26].

Atıklar birçok sorunu beraberinde getirmektedir; bunlar çevre sorunu ve çoğu zamanda depolama olarak ek maliyettir. Bundan dolayı, çoğu atık içeriğine bakılmadan yok edilmeye çalışılmaktadır. Fakat, atıkların da bir değeri olduğu göz önünde bulundurulmalı ve atıklar katma değeri yüksek ürünlerin elde edilmesinde kullanılmalıdır [27].

Ünal ve Kibici (2001) çalışmalarında mermer atığının ince malzeme olarak betonda kullanılmasının basınç ve eğilme dayanımını araştırmışlardır. Yapılan çalışmada üretilen betonlara farklı oranlarda mermer atığı ilave edilerek 8 tip beton üretilmiştir. Elde edilen bulgular normal beton değerleri ile kıyaslanarak mermer atığının belirli dozajda katılmasının basınç ve eğilme dayanımını arttırdığı gözlemlenmiştir [28].

Bakırhan ve Bozkurt (2019) çalışmalarında pomza ve perlit kullanarak laboratuvar ortamında kompozit hafif beton üretimi üzerine araştırma yapmışlardır. Bu agregaların yanı sıra CEM-I 42,5 N çimento, silis dumanı, uçucu kül, yüksek fırın cürufu ve çeşitli kimyasal katkıları eklenmiştir. Üretilen betonlar çeşitli kürlere tabi tutularak fiziksel ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Elde edilen deney sonuçlarına göre; perlitli hafif betonların pomzalı hafif betonlara kıyasla yüksek ısı yalıtımına sahip olduğu aynı zamanda düşük mukavemete de sahip olduğu gözlemlenmiştir. Uçucu kül mukavemeti arttırırken silis dumanı yalıtım özelliklerini iyileştirdiği belirtilmiştir [29].

Polat ve Demirboğa (2013) çalışmalarında yüksek dayanımlı betonlarda, çimento içeriğinin fazla, su/bağlayıcı oranının düşük olması ve silis dumanı içerdiklerinden dolayı meydana gelen hacim değişikliği ve bunun sonucunda oluşan çatlakların ana nedeni otojen rötre olduğunu savunmuştur. Normal dayanımlı betonların dışardan uygulanan kür ile otojen rötresi azalırken yoğun iç yapıya sahip yüksek dayanımlı betonda otojen rötreyi azaltmada yeterli olmadığını ve içsel kür uygulanması gerektiğini iddia etmektedir. Bu amaçla yüksek dayanımlı betonun otojen rötrelere azaltılmasında beton içerisine yerleştirilen su rezervuarları ve genişleyen katkıları kullanılabilirliğini ileri sürmüştür. Yapılan çalışmada, genişletilmiş perlit agregası (GPA) ve kilin suya doygun halde beton içerisinde kullanımının ve genişleyen ürünler olarak CaO ve MgO katkılarının mikro ve nano boyutta kullanımının yüksek dayanımlı betonu otojen rötrelere

etkileri incelemiştir. Bu amaçla, beton ve harç karışımlarında ince agreganın 0-2 mm'lik kısmının yerine, toplam agrega hacminin %10, %20 ve %30 oranlarında GPA, beton, harç ve hamur karışımlarda çimento yerine toplam bağlayıcı ağırlığının %1,5, %3,0 ve %4,5 oranlarında doymuş kil ve %2,5, %5,0 ve %7,5 oranlarında mikro boyutta CaO ve MgO kullanılmıştır. Ayrıca harç ve hamur karışımlarda toplam bağlayıcı ağırlığının %2,5, %5,0 ve %7,5 oranlarında Nano-CaO ve Nano-MgO katkıları kullanılmıştır. Üretilen hamur numunelerin priz süresi ve hacimsel otojen rötresi ve harç numunelerin 7 ve 28 günlük basınç dayanımı ve ultrasonik hız değerleri, lineer otojen rötre değerleri ve hidrasyon ısıları incelenmiştir. Genleştirilmiş perlit, kil, CaO ve MgO ile üretilen beton numunelerin ise 7, 28 ve 90 günlük basınç dayanımları ve UPV değerleri, lineer otojen rötre ve kısıtlanmış rötreleri tespit edilmiştir. Sonuç olarak, GPA ve geniş ürünlerin tüm kullanım oranlarında otojen rötre azaldığı gözlemlenmiştir. Genleştirilmiş perlit ve MgO'nun basınç dayanımını ve UPV değerlerini azalttığı, CaO'nun kontrol numunelerine kıyasla pek etkilemediği hatta azda olsa artırdığı belirlenmiştir. Nano-CaO ve Nano-MgO'nun basınç dayanımını mikro boyuta göre daha da artırdığı ve otojen rötreyi azalttığını tespit etmişlerdir [30].

Lif katkılı beton çalışmalarında beton matris yapısı, lifin etrafını saran ortam malzemesidir. Başka bir deyişle, çimento hamuru matris olarak tanımlanmaktadır. Lif katkılı kompozit betonlarda matrisin görevi liflerin dağılmasını önlemek, onları çevrelemek ve liflerle gelen gerilmeyi veya liflerden gelen gerilme transferini sağlamaktır [31]. Normal betonun çekme gerilmeleri altında çatladığı kabul edilir [32]. Bu çekme gerilmeleri, bir çatlaktan pek çok çatlağın yayılmasına neden olarak betonda göçmeye neden olur. Bu dağılmış çatlaklar ise boyut etkisini doğurur. Çatlakların oluşması ve yayılmasına karşı betonun direncini ve düktilitesini arttırmak için betonun liflerle güçlendirilmesi etkili bir yoldur [33]. Beton harcı içerisine lif katılması, betonun eğilme mukavemeti, çekme mukavemeti, elastisite modülü, darbe direnci, yorulma dayanımı, parçalanma ve kırılma dayanımında ve tokluğunda artışlar meydana getirir [34].

Silis dumanının süper akışkanlaştırıcılarla birlikte kullanımı ile beton dayanımlarında yüksek değerlere ulaşabileceği kanıtlanmıştır. Bu durum azalan boşluk oranı ve silis dumanının geçiş zonundaki aktivitesi ile açıklanabilir. Silis dumanı betonda kullanıldığında, çimentonun hidrasyonu esnasında ortaya çıkan serbest kireci bağlayarak kalsiyum silikat hidrateyi (CSH) oluşturur. Serbest kirecin bağlanması neticesinde çimento hamuru daha yoğun mikro boşluk yapısına sahip olur, ayrıca ince silis dumanı taneleri agrega-çimento hamuru ara yüzeyini sıkılayıp güçlendirerek daha yüksek dayanımlara ulaşabilen betonlar elde edilmesini sağlar [35,36,37]. Silis dumanı betonun erken yasta yüksek dayanımlara ulaşmasını sağlamakla birlikte, bu durum betonun bulunduğu ortamın sıcaklığıyla da ilişkilidir. Silis dumanı kullanılarak üretilen betonun 7 günlük dayanımında, eğer kür yapıldığı ortam 10°C 34 mertebesinde ise belirgin bir artış

olmamaktadır. Ancak kr ortamının sıcaklığı 20°C mertebesinde ise, betonun dayanımı önemli ölçüde artmaktadır [38].

Yapmış olduğum çalışmamda reaktif pudra beton üretiminde atık mermer, ham perlit, genleştirilmiş perlit, silis dumanı, elik lif ve akışkanlaştırıcı katkı kullanarak bu malzemelerden çeşitli kr koşulları altında maksimum basınç ve eğilme dayanımı elde ederek bu özellikteki bir betonun yol üst yapı kaplamalarında kullanılabilirliği araştırılmıştır.



2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada, beton yol kaplamasında kullanılmak üzere 3 tip farklı beton üretilmiştir. 1. Tip betonda, beton karışımında 0,18-0,25 mm arası mineral boyuta sahip “mermer kumu” kullanılmıştır. 2. Tip betonda, beton karışımında 0,18-0,25 mm arası mineral boyuta sahip “ham perlit kumu” kullanılmıştır. 3. Tip betonda, beton karışımında 0,18-0,25 mm arası mineral boyuta sahip “genleştirilmiş perlit kumu” kullanılmıştır. Her tip beton lifli ve lifsiz olmak üzere iki şekilde üretilmiştir. Lifli tip beton üretimlerinde kullanılan çelik lifler, 35 mm uzunluğunda 0,7 mm çapındadır. Geleneksel olarak beton yol kaplama inşasında kırmataş kalker agregalı C30/37 normal dayanımlı beton kullanılmaktadır. Bu nedenle, kontrol numunesi olarak da, normal dayanımlı beton sınıfına giren, kırmataş kalker agregalı C30/37 betonu ayrıca üretilmiştir. Üretilen tüm tip beton numunelere, 7-28 gün 20°C standart su kürü ile ısıtılmış kombine kür uygulanmıştır. Kür sonrası beton numunelerin basınç ve eğilme deneyi sonucu dayanımları bulunmuştur. Bu çalışmada oluşturulan beton yol kaplama numunelerinden yüksek basınç ve eğilme dayanımı elde edilmiştir. Bu çalışma ile tamamen yerli malzemelerden üretilen yeni tip beton yol kaplamaları üretilmiştir. Bu şekilde yol kaplama inşasında asfalt kaplama yerine beton kaplama yapılarak ülke ekonomisine önemli bir katkı sağlanması hedeflenmiştir.

Beton üretimlerinde reaktif pudra beton (RPB) karışım oranları göz önüne alınmıştır. RPB’ da su/bağlayıcı oranı 0,12-0,15 arasında olup oldukça düşüktür [39]. Bu çalışmada RPB karışım oranları göz önüne alınarak yeni beton tipleri oluşturulmuştur. Bu çalışmada üretilen beton tiplerinin RPB’ den tek farkı su/bağlayıcı oranının farklı olmasıdır. RPB’ da su/bağlayıcı oranı 0,12-0,15 olmasına rağmen, işlenebilirliği sağlamak amacıyla bu çalışmada tüm tip beton numunelerde su/bağlayıcı oranı 0,40 alınmıştır. RPB su/bağlayıcı oranı çok düşük olduğundan arazide üretimi oldukça zordur. Çalışmada su/bağlayıcı oranı 0,40 alınarak, işlenebilirlik açısından arazide uygulanması basit hale getirilmiştir. Çalışmada yapılan ön denemeler sonucunda su/bağlayıcı oranının 0,30’ dan sonra taze beton karışımının işlenebilirliği başlamıştır. Yol beton kaplama üretimlerinde, çalışmada oluşturulan yeni tipte betonların üretimi için su/bağlayıcı oranının 0,30-0,45 arası alınabilir. Su/bağlayıcı oranının artmasıyla, beton basınç ve eğilme dayanımının düşeceği unutulmamalıdır. Basınç deneyi için küp kalıp boyutları 15x15x15 cm alınmıştır. Eğilme deneyleri için prizma kalıp boyutları 10x10x40 cm alınmıştır. Üretilen bu betonlar yeni tip betonlar olup, henüz herhangi bir patent alınmamıştır. Bu beton tipleri bu tez çalışmasında üretilmiştir. Alınacak sonuçlara göre mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi ve geliştirilmesi çalışmalarına devam edilecektir.

2.1. Lifsiz Beton Üretim Malzemeleri

Bu çalışmada tüm beton türlerinde ortak olarak TS EN 197-1 standartlarına uygun CEM I 42,5 N türü çimento kullanılmıştır. Çimento, Adabağ Yapı A.Ş.' den temin edilmiştir. Çimento görünümü Şekil 2.1' de verilmiştir. CEM I 42,5 N çimentosunun kimyasal özellikleri Çizelge 2.1' de verilmiştir. CEM I 42,5 N fiziksel ve mekanik özellikleri Çizelge 2.2' de verilmiştir [40].



Şekil 2.1. Çimento

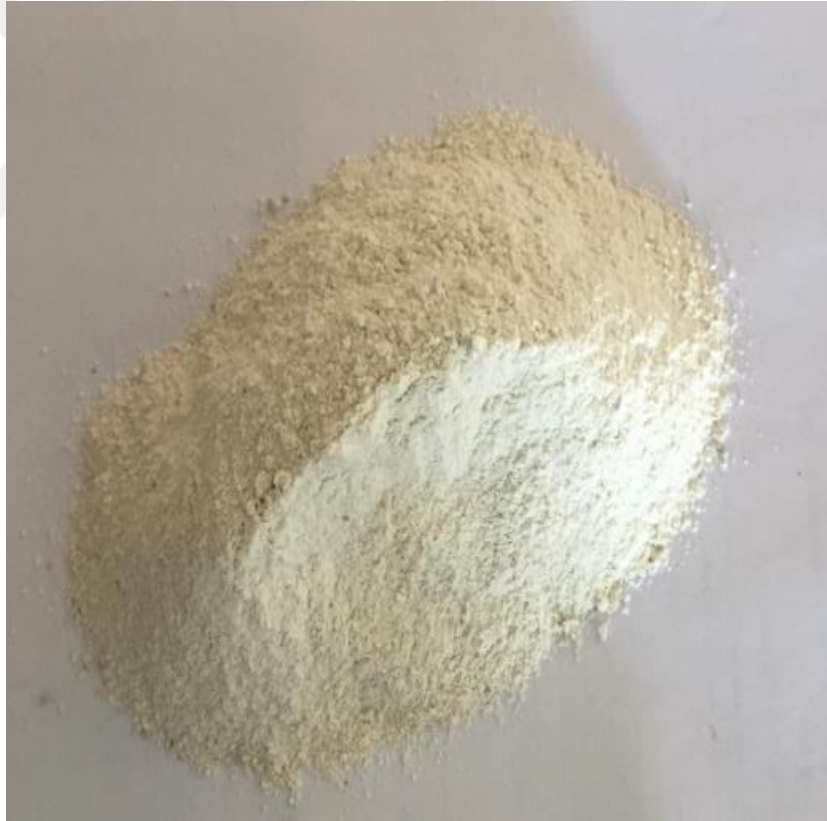
Çizelge 2.1. CEM I 42,5 N kimyasal özellikleri

Kimyasal Özellikler %	
SiO ₂	19,28
Al ₂ O ₃	5,09
Fe ₂ O ₃	2,99
CaO	63,14
MgO	1,96
SO ₃	2,81
Kızdırma Kaybı	3,22
K ₂ O	0,7100
Na ₂ O	0,6472
Cl	0,0118

Çizelge 2.2. CEM I 42,5 N fiziksel ve mekanik özellikleri

Fiziksel ve Mekanik Özellikler	
Özgül Ağırlık (g/cm ³)	3,13
Özgül Yüzey (cm ² /g)	3067
Priz Başı (dk.)	153
Priz Sonu (dk.)	206
Basınç Dayanımı 7 Gün (MPa)	38,9
Basınç Dayanımı 28 Gün (MPa)	52,2

Mermer Tozu Adabağ Yapı Sanayi A.Ş. ‘ den temin edilmiştir. TS 706 EN 12620- Beton Agregaları standart uygunluğuna sahiptir [40]. Tez çalışmasında kullanılan mermer tozlarının görünümü Şekil 2.2’ de verilmiştir.



Şekil 2.2. Mermer tozu

Silis dumanı, İksa İnşaat Katkıları San. ve Tic. Ltd. Şti.’den temin edilmiştir. Silis dumanı görünümü Şekil 2.3’ de verilmiştir. Silis dumanı kimyasal özellikleri Çizelge 2.3’ de verilmiştir [41].



Şekil 2.3. Silis dumanı

Çizelge 2.3. Silis Dumanı kimyasal özellikleri

Kimyasal Özellikler	
Madde	Miktar(%)
SiO ₂	94,17
Al ₂ O ₃	0,70
Fe ₂ O ₃	0,43
CaO	0,67
MgO	1,23
SO ₃	0,57
>45 µm	0,79
Kızdırma Kaybı	0,77
Birim Hacim (g/cm ³)	0,45
Özgül Ağırlık (g/cm ³)	2,25
Özgül Yüzey (cm ² /g)	200000

Süper akışkanlaştırıcı olarak BASF Türk Kimya Sanayi ve Ticaret Ltd. Şti.' den temin edilen Master Glenium-128 kullanılmıştır. Süperakışkanlaştırıcı görünümü Şekil 2.4' de verilmiştir. Master Glenium-128 süperakışkanlaştırıcı özellikleri Çizelge 2.4' de verilmiştir [42].



Şekil 2.4. Süperakışkanlaştırıcı

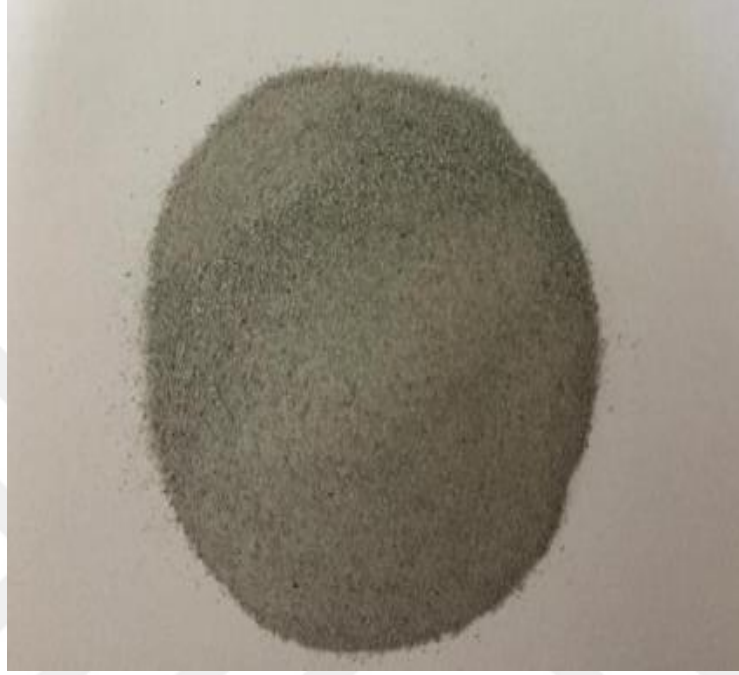
Çizelge 2.4. Master Glenium- 128 süperakışkanlaştırıcı özellikleri

Teknik Özellikler	
Malzemenin Yapısı	Polikarboksilik Eter Esaslı
Görünüm	Kahverengi-Sıvı
Özgül Ağırlık (20 °C'de)	1,061-1,101 kg/lt
pH Değeri	6
Alkali İçeriği (%)	≤ 3.0 (Kütlece)
Klor İyon İçeriği (%)	≤ 0.1 (Kütlece)

Master Glenium-128, polikarboksilik eter esaslı çok amaçlı yenilikçi bir katkı maddesidir. Bu katkı geleneksel su kesici ve akışkanlaştırıcı katkıların yerine hazır beton pazarı için özel olarak tasarlanmıştır. Bu ürünün yapısı çok fonksiyonlu bir katkı maddesi gibi davranmasına izin vermektedir. Priz süresinde gecikme olmadan, yüksek dayanım ve işlenebilirliğe sahip kaliteli bir beton elde etmek mümkündür [42].

Perlit; asidik bir volkanik camdır. Perlit, ısıyla genleşme özelliği olan, genişletildiğinde çok hafif ve gözenekli bir hale geçen bir kayadır. Çeşitli perlit kayalarının renkleri ve yapıları birbirinden çok farklı olabilir. Bu bakımdan perlit göze tanımak oldukça zordur. Ham perlitin rengi saydam açık griden parlak siyaha kadar değişmekte olup, genişletildiğinde renk tamamen beyazlaşır. Perlitte en önemli özellik % 2 ile 6 oranında değişen içeriğindeki sudur ve bu su perlitin kararlılığını sağlamaktadır [43].

Bu çalışmada ham perlit ve genişletilmiş perlit ayrı ayrı kullanılmıştır. Her iki perlit türü İper Perlit İnş. San. ve Tic. Ltd. Şti.' den temin edilmiştir. İşlenmemiş ham perlit görünümü Şekil 2.5' de verilmiştir. İşlenmiş perlit görünümü Şekil 2.6' da verilmiştir. Çizelge 2.5'de perlitin fiziksel özellikleri verilmiştir. Çizelge 2.6' de perlitin kimyasal özellikleri verilmiştir [43].



Şekil 2.5. Ham perlit



Şekil 2.6. Genleştirilmiş perlit

Çizelge 2.5. Perlitin fiziksel özellikleri

Renk	Beyaz, gri ve tonları
Yumuşama Noktası	870-1100 °C
Ergime Noktası	1260-1343 °C
OH	7,5-8
Özgül Isı	0,2 cal/g0C (837 J/Kg.k)
Özgül Ağırlık	2,2-2,4 g/cc (2200-2400 kg/m3)
Serbest Nem (%)	Max. 0,5
Ağırlık Kaybı	İstenildiği kadar
Gevşek Yoğunluk (genleşmiş)	32-400 kg/m ³
Isı iletkenliği (genleşme)	0,04 w/m.k
Asitte erime özelliği	Konsantre sıcak alkali ve hidroklorik asitte erir. Konsantre mineral asitlerinde az erir (%2). Seyreltik mineral veya konsantre zayıf asitlerde çok az erir (%0,1).

Çizelge 2.6. Perlitin kimyasal özellikleri (%)

SiO ₂	71,0-75,0
AlO ₃	12,5-18,0
Na ₂ O ₃	2,9-4,0
K ₂ O	0,5-5,0
CaO	0,2-0,5
Fe ₂ O ₃	0,1-1,5
MgO	0,02-0,5
TiO ₂	0,03-0,2
MnO ₂	0,0-0,01
SO ₃	0,0-0,2
FeO	0,0-0,1
Cr	0,0-0,1
Ba	0,0-0,05

Deneylerde içilebilir özellikte şebeke suyu kullanılmıştır.

2.2. Lifli Beton Üretim Malzemeleri

Lifli beton üretiminde kullanılan çelik lifler Atlas Bir Yapı ve Müh. A.Ş.' den temin edilmiştir. Çelik lifler 35 mm uzunluğunda 0,75 mm çapındadır. Çelik liflerin görünümü Şekil 2.7' de verilmiştir. Çelik liflerin fiziksel ve mekanik özellikleri Çizelge 2.7' de verilmiştir [44].



Şekil 2.7. Çelik lif

Çizelge2.7. Beton üretiminde kullanılan çelik fiber teknik özellikleri

Standart	ASTM A820/A820M-04
Görünüm	Parlak, Çelik Tel
Tip	Soğuk Çekme
Kenar	Kıvrımlı
Açı	45 ⁰
Fiber Uzunluk	35 mm
Çap	0,75 mm
Çekme Kuvveti	1400 MPa
Narinlik Oranı	50

2.3. Kontrol Numunesi Beton Üretim Malzemeleri

Kontrol numunesi beton üretiminde TS EN 197-1 standartlarına uygun ve TSE ISO 9001:2008 kalite yönetim sistem uygunluğuna sahip, CEM I 42,5 N türü çimento, agrega olarak kırmataş kalker ve beton karma suyu içinde şebeke suyu kullanılmıştır. Kırmataş kalker agregası Adabağ Yapı Sanayi A.Ş. ' den temin edilmiştir [40].

2.4. Lifsiz Beton Karışım Miktarları

2.4.1. İdeal lifsiz reaktif pudra beton karışım miktarları

Reaktif Pudra Betonların karışım tasarımı için bu çalışma kapsamında yapılan araştırmalarda yerli ve yabancı herhangi bir standarda rastlanılmamıştır. Karışımı oluşturan taneli malzemelerin sıkı bir yapı oluşturacak şekilde oranlanması için farklı karışım teorileri kullanılmıştır [12]. Bu teoriler, Mooney'in süspansiyon viskozite modelinden türemiştir [30, 31]. Mooney'in modelinden faydalanılarak ortaya çıkan farklı karışım tasarımlarından genel olarak kullanılan karışımlar Çizelge 2.8' de görülmektedir [9].

Çizelge 2.8. Tipik RPB 200 ve RPB 800 betonların çimentoya göre karışım oranları

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 (150 - 600 µm)	1,1	1,1	1,1	1,1	0,5	-
Kırılmış Kuvars ($d_{50} = 10 \mu\text{m}$)	-	0,39	-	0,39	0,39	0,39
Süperakışkanlaştırıcı	0,016	0,019	0,016	0,019	0,019	0,019
Çelik Tel ($L = 12 \text{ mm}$)	-	-	0,175	0,175	-	-
Çelik Tel ($L = 3 \text{ mm}$)	-	-	-	-	0,63	0,63
Çelik agregalar ($< 800 \mu\text{m}$)	-	-	-	-	-	1,49
Su	0,15	0,17	0,17	0,19	0,19	0,19

Çizelge 2.8' de, 1 birim cinsinden verilen karışım oranları göz önüne alınarak, hesaplamalarda kolaylık sağlaması amacıyla toplam karışım ağırlığı ile çimento miktarı arasındaki bağıntı Eşitlik (1)' de görülmektedir [5, 15]:

$$1 \text{ m}^3 \text{ RPB Karışım Ağırlığı (kg)} = 2,516 \times 1 \text{ m}^3 \text{ RPB Çimento Miktarı (kg)} \quad (2.1)$$

1 m³ RPB karışım ağırlığı 2400 kg ise bu karışımında kullanılacak çimento miktarı Eşitlik (2.1)'den 2400/2,516 oranı sonucu yaklaşık 954 kg olacaktır. Çimento miktarı 954 kg bulunduktan sonra aşağıdaki karışım oranlarına göre karışımında kullanılacak diğer malzeme miktarları belirlenir [5, 15]. Çizelge 2.8' de, 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 [5, 14]. Bu değerler ideal bir RPB karışım oranını ortaya çıkarmak için kullanılmıştır. 1 m³ karışımında kullanılacak 954 kg çimento miktarına göre ideal lifsiz RPB karışım oranı Çizelge 2.9' da gösterilmiştir. İdeal lifsiz RPB numunelerin su/bağlayıcı oranı 0,12 ve silis dumanı/çimento oranı 0,25'dir.

Çizelge 2.9. İdeal Lifsiz beton karışım miktarları

Malzemeler	Miktar (kg/m³)
Portland Çimentosu	954
Silis Dumanı	238
Kuvars (0,15- 0,6 mm)	1050
Süperakışkanlaştırıcı	15
Su	143
Toplam	2400

2.4.2. Mermer agregalı lifsiz beton karışım miktarları

Bu çalışmada, 1. Tip işlenmemiş mermer agregalı lifsiz betonun su/bağlayıcı oranı 0,40 olacak şekilde yeni karışım oranları oluşturulmuştur. Su/bağlayıcı oranı 0,40 olan lifsiz mermer betonu (Lifsiz-MB40) üretiminde 1 birim cinsinden silis dumanı çimento miktarının ağırlıkça %25'i, kum içeriği çimento miktarının ağırlıkça %75'i, süper akışkanlaştırıcı çimento miktarının

ağırlıkça %1,6'sı, karıştırma suyu çimento miktarının ağırlıkça %50'si oranında hazırlanarak karışım oluşturulmuştur. 3 farklı kür uygulaması için 3'er tane numune olmak üzere 9 tane basınç numunesi 9 tane eğilme numunesi üretilecektir. Lifsiz-MB40 karışım miktarları Çizelge 2.10' da görülmektedir. Lifsiz-MB40 betonun su/bağlayıcı oranı 0,40 ve silis dumanı/çimento oranı 0,25'dir.

Çizelge 2.10. Lifsiz Mermer agregalı beton karışım miktarları

Malzemeler	Miktar (kg/m³)
Portland Çimentosu	954
Silis Dumanı	238
Mermer (0,18- 0,25 mm)	716
Süperakışkanlaştırıcı	15
Su	477
Toplam	2400

2.4.3. Ham perlit agregalı lifsiz beton karışım miktarları

Bu çalışmada, 2. Tip ham perlit agregalı lifsiz betonun su/bağlayıcı oranı 0,40 olacak şekilde yeni karışım oranları oluşturulmuştur. Su/bağlayıcı oranı 0,40 olan lifsiz ham perlit betonu (Lifsiz-İşlenmemiş-PB40) üretiminde 1 birim cinsinden silis dumanı çimento miktarının ağırlıkça %25'i, kum içeriği çimento miktarının ağırlıkça %75'i, süper akışkanlaştırıcı çimento miktarının ağırlıkça %1,6'sı, karıştırma suyu çimento miktarının ağırlıkça %50'si oranında hazırlanarak karışım oluşturulmuştur. 3 farklı kür uygulaması için 3'er tane numune olmak üzere 9 tane basınç numunesi 9 tane eğilme numunesi üretilecektir. Lifsiz-Genleştirilmiş-PB40 karışım miktarları Çizelge 2.11' de görülmektedir. Lifsiz-PB40 betonun su/bağlayıcı oranı 0,40 ve silis dumanı/çimento oranı 0,25'dir.

Çizelge 2.11. Lifsiz- Ham Perlit karışım miktarları

Malzemeler	Miktar (kg/m³)
Portland Çimentosu	954
Silis Dumanı	238
Ham Perlit (0,18- 0,25 mm)	716
Süperakışkanlaştırıcı	15
Su	477
Toplam	2400

2.4.4. Genleştirilmiş perlit agregalı lifsiz beton karışım miktarları

Bu çalışmada, 3. Tip işlenmiş perlit agregalı lifsiz betonun su/bağlayıcı oranı 0,40 olacak şekilde yeni karışım oranları oluşturulmuştur. Su/bağlayıcı oranı 0,40 olan lifsiz işlenmiş perlit betonu (Lifsiz-İşlenmiş-PB40) üretiminde 1 birim cinsinden silis dumanı çimento miktarının ağırlıkça %25'i, kum içeriği çimento miktarının ağırlıkça %75'i, süper akışkanlaştırıcı çimento miktarının ağırlıkça %1,6'sı, karıştırma suyu çimento miktarının ağırlıkça %50'si oranında hazırlanarak karışım oluşturulmuştur. 3 farklı kür uygulaması için 3'er tane numune olmak üzere 9 tane basınç numunesi 9 tane eğilme numunesi üretilecektir. Lifsiz-İşlenmiş-PB40 karışım miktarları Çizelge 2.12' de görülmektedir. Lifsiz-İşlenmiş-PB40 betonun su/bağlayıcı oranı 0,40 ve silis dumanı/çimento oranı 0,25'dir.

Çizelge 2.12. Lifsiz- Genleştirilmiş Perlit karışım miktarları

Malzemeler	Miktar (kg/m³)
Portland Çimentosu	954
Silis Dumanı	238
İşlenmiş Perlit (0,18- 0,25 mm)	716
Süperakışkanlaştırıcı	15
Su	477
Toplam	2400

2.4.5. Lifsiz kontrol betonu karışım miktarları

Lifsiz kontrol betonu karışım miktarları Çizelge 2.13' de görülmektedir. Lifsiz kontrol betonu su/bağlayıcı oranı 0,40 alınmıştır. 3 farklı kür uygulaması için 3'er tane numune olmak üzere 9 tane basınç numunesi 9 tane eğilme numunesi üretilecektir.

Çizelge 2.13. Lifsiz- Kontrol betonu karışım miktarları

Malzemeler	Miktar (kg/m ³)
Portland Çimentosu	450
Kırmataş (0-4 mm)	761
Kırmataş (4-8 mm)	389
Kırmataş (8-16 mm)	620
Su	180
Toplam	2400

2.5. Lifli Beton Karışım Miktarları

2.5.1. İdeal Lifli RPB Karışım miktarları

Çizelge 2.8' de, 1 birim cinsinden verilen karışım oranları göz önüne alınarak, hesaplamalarda kolaylık sağlaması amacıyla toplam karışım ağırlığı ile çimento miktarı arasındaki bağıntı Eşitlik (2)' de görülmektedir [5, 15]:

$$1 \text{ m}^3 \text{ RPB Karışım Ağırlığı (kg)} = 2,711 \times 1 \text{ m}^3 \text{ RPB Çimento Miktarı (kg)} \quad (2.2)$$

1 m³ RPB karışım ağırlığı 2400 kg ise bu karışımında kullanılacak çimento miktarı Eşitlik (2.2)'den 2400/2,711 oranı sonucu yaklaşık 885 kg olacaktır. Çimento miktarı 885 kg bulunduktan sonra aşağıdaki karışım oranlarına göre karışımında kullanılacak diğer malzeme miktarları belirlenir [5, 15]. Çizelge 2.8' 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 [5, 15]. Bu değerler ideal lifli RPB karışım oranlarını ortaya çıkarmak için kullanılmıştır. 1 m³ karışımında kullanılacak 885 kg çimento miktarına göre ideal lifli

RPB karışım oranları Çizelge 2.14’de gösterilmiştir. İdeal lifli RPB numunelerin su/bağlayıcı oranı 0,13 ve silis dumanı/çimento oranı 0,25’dir.

Çizelge 2.14. İdeal Lifli RPB karışım miktarları

Malzemeler	Miktar (kg/m³)
Portland Çimentosu	885
Silis Dumanı	221
Kuvars (0,15- 0,6 mm)	975
Süperakışkanlaştırıcı	14
Çelik Tel	155
Su	150
Toplam	2400

2.5.2. Mermer agregalı lifli beton karışım miktarları

Bu çalışmada, 1. Tip mermer agregalı lifli betonun su/bağlayıcı oranı 0,40 olacak şekilde yeni karışım oranları oluşturulmuştur. Su/bağlayıcı oranı 0,40 olan lifli mermer betonu (Lifli-MB40) üretiminde 1 birim cinsinden silis dumanı çimento miktarının ağırlıkça %25’i, kum içeriği çimento miktarının ağırlıkça %77’si, süper akışkanlaştırıcı çimento miktarının ağırlıkça %1,6’sı, çelik lifler çimento miktarının ağırlıkça %17,5’u ve karıştırma suyu çimento miktarının ağırlıkça %50’si oranında hazırlanarak karışım oluşturulmuştur. 3 farklı kür uygulaması için 3’er tane numune olmak üzere 9 tane basınç numunesi 9 tane eğilme numunesi üretilecektir. Lifli-MB40 karışım miktarları Çizelge 2.15’ de görülmektedir. Lifli-Mermer Agregalı MB40 betonun su/bağlayıcı oranı 0,40 ve silis dumanı/çimento oranı 0,25’dir.

Çizelge 2.15. Lifli- Mermer betonu karışım miktarı

Malzemeler	Miktar (kg/m³)
Portland Çimentosu	885
Silis Dumanı	221
Mermer Tozu (0,18- 0,25 mm)	682
Süperakışkanlaştırıcı	14
Çelik Tel (D=0,75 mm L=35 mm)	155
Su	443
Toplam	2400

2.5.3. Ham perlit agregalı lifli beton karışım miktarları

Bu çalışmada, 2. Tip ham perlit agregalı lifli betonun su/bağlayıcı oranı 0,40 olacak şekilde yeni karışım oranları oluşturulmuştur. Su/bağlayıcı oranı 0,40 olan lifli ham perlit betonu (Lifli-İşlenmemiş-PB4) üretiminde 1 birim cinsinden silis dumanı çimento miktarının ağırlıkça %25'i, kum içeriği çimento miktarının ağırlıkça %77'si, süper akışkanlaştırıcı çimento miktarının ağırlıkça %1,6'sı, çelik lifler çimento miktarının ağırlıkça %17,5'u ve karıştırma suyu çimento miktarının ağırlıkça %50'si oranında hazırlanarak karışım oluşturulmuştur. 3 farklı kür uygulaması için 3'er tane numune olmak üzere 9 tane basınç numunesi 9 tane eğilme numunesi üretilecektir.

Lifli-Ham Perlit -PB40 karışım miktarları Çizelge 2.16'da görülmektedir. Lifli-Ham Perlit-PB40 betonun su/bağlayıcı oranı 0,40 ve silis dumanı/çimento oranı 0,25'dir.

Çizelge 2.16. Lifli- Ham Perlit karışım miktarları

Malzemeler	Miktar (kg/m ³)
Portland Çimentosu	885
Silis Dumanı	221
Ham Perlit (0,18-0,25 mm)	682
Süper akışkanlaştırıcı	14
Çelik Tel (D=0,75mm, L=35 mm)	155
Su	443
Toplam	2400

2.5.4. Genleştirilmiş perlit agregalı lifli beton karışım miktarları

Bu çalışmada, 3. Tip genleştirilmiş perlit agregalı lifli betonun su/bağlayıcı oranı 0,40 olacak şekilde yeni karışım oranları oluşturulmuştur. Su/bağlayıcı oranı 0,40 olan lifli genleştirilmiş perlit betonu (Lifli-Genleştirilmiş Perlit-PB4) üretiminde 1 birim cinsinden silis dumanı çimento miktarının ağırlıkça %25'i, kum içeriği çimento miktarının ağırlıkça %77'si, süper akışkanlaştırıcı çimento miktarının ağırlıkça %1,6'sı, çelik lifler çimento miktarının ağırlıkça %17,5'u ve karıştırma suyu çimento miktarının ağırlıkça %50'si oranında hazırlanarak karışım oluşturulmuştur. 3 farklı kür uygulaması için 3'er tane numune olmak üzere 9 tane basınç numunesi 9 tane eğilme numunesi üretilecektir.

Lifli-Genleştirilmiş Perlit karışım miktarları Çizelge 2.17’de görülmektedir. Lifli-Genleştirilmiş Perlit-PB40 betonun su/bağlayıcı oranı 0,40 ve silis dumanı/çimento oranı 0,25’dir.

Çizelge2.17. Lifli- Genleştirilmiş Perlit karışım miktarları

Malzemeler	Miktar (kg/m³)
Portland Çimentosu	885
Silis Dumanı	221
Genleştirilmiş Perlit (0,18-0,25 mm)	682
Süper akışkanlaştırıcı	14
Çelik Tel (D=0,75mm, L=35 mm)	155
Su	443
Toplam	2400

2.5.5. Lifli Kontrol Beton Karışım miktarları

Lifli kontrol betonu karışım miktarları Çizelge 2.18’ de görülmektedir. Lifli kontrol betonun su/bağlayıcı oranı 0,40 alınmıştır. 3 farklı kür uygulaması için 3’er tane numune olmak üzere 9 tane basınç numunesi 9 tane eğilme numunesi üretilecektir.

Çizelge 2.18. Lifli- Kontrol betonu karışım miktarları

Malzemeler	Miktar (kg/m³)
Portland Çimentosu	450
Kırmataş (0-4 mm)	695
Kırmataş (4-8 mm)	355
Kırmataş (8-16 mm)	565
Çelik Tel (D=0,75mm, L=35 mm)	155
Su	180
Toplam	2400

2.6. Beton Kür Uygulamaları

Betonun öngörülen dayanım ve dayanıklılığı kazanması için doğru şekilde yerleştirilmesi ve bakımının yapılması gerekir. Beton bakımı olarak uygulanan kür, beton üretiminde en önemli aşamadır. Kür; betonun priz süresi ve dayanım kazanması aşamasında su kaybı ve hava etkisinden korunmasına denir. Tüm tip beton numunelerine 3 tip kür uygulanacaktır:

1. 7 gün 0°C Standart su kürü
2. 28 gün 20°C Standart su kürü
3. Kombine Kür

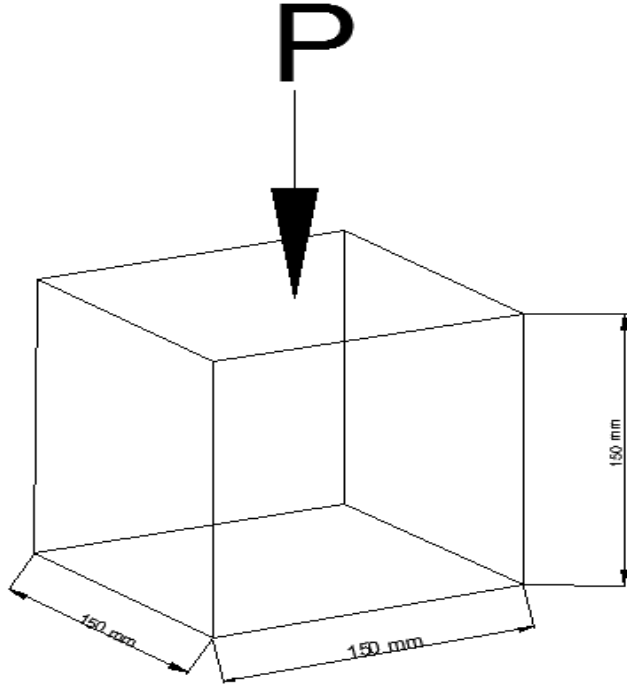
Kombine kürler için, literatür araştırmalarında herhangi bir standardın olmadığı görülmüştür. Bakış vd. (2015) yılı çalışmalarında, oluşturdukları betona 9 farklı tipte kombine kür uygulanmıştır. Çalışma sonucunda, maksimum basınç ve eğilme dayanımı veren kombine kür şeklinin, 7 gün 20°C standart su kürü, ardı sıra 2 gün 90°C sıcak su kürü ve son olarak ardı sıra 2 gün 180°C etüv kürü şeklinde uygulanan kombine kür olduğu belirtilmiştir [5, 47].

Tüm tip beton üretimlerinde, priz süresince herhangi bir sıkıştırma basıncı uygulanmamıştır. Kalıptan çıkartılan numunelere, 7 gün 20°C standart su kürü, 28 gün 20°C standart su kürü ve kombine kür şeklinde 3 farklı kür tipi uygulanacaktır. Kür sonrası tüm numunelere basınç-eğilme deneyleri yapılmıştır. Ayrıca elementel düzeyde ve malzemeler priz aldıktan sonra oluşan kimyasal tepkilemeler ile ortaya çıkan bileşiklerin iç yapılarının incelenmesi ve ara yüzeylerinde ki aderansın daha iyi gözlemlenmesi amacıyla XRD, SEM, EDX analizleri yapılmıştır.

2.7. Basınç Deneyleri

Basınç dayanımı, eksenel basınç yükü etkisi altındaki betonun deformasyona uğramamak için gösterdiği direnme kabiliyetidir. TS EN 12390-3 (2010) standardı esas alınarak basınç deneyi cihaz yükleme hızı 0,6 MPa/s (N/mm².s) belirlenmiştir. Basınç deneyi şekilsel görünümü Şekil 2.8' de gösterilmiştir.

Basınç deneyinde kullanılan cihaz, kırma yükünü göstererek basınç dayanımını TS EN 12390-3 (2010) standardına uygun olarak Eşitlik (2.3)' de verilen bağlantı yardımıyla otomatik olarak hesaplanmaktadır.



Şekil 2.8. Basınç deneyi şekilsel görünümü

$$f_c = P/A_c \quad (2.3)$$

Burada;

f_c : Basınç dayanımı, MPa (N/mm^2)

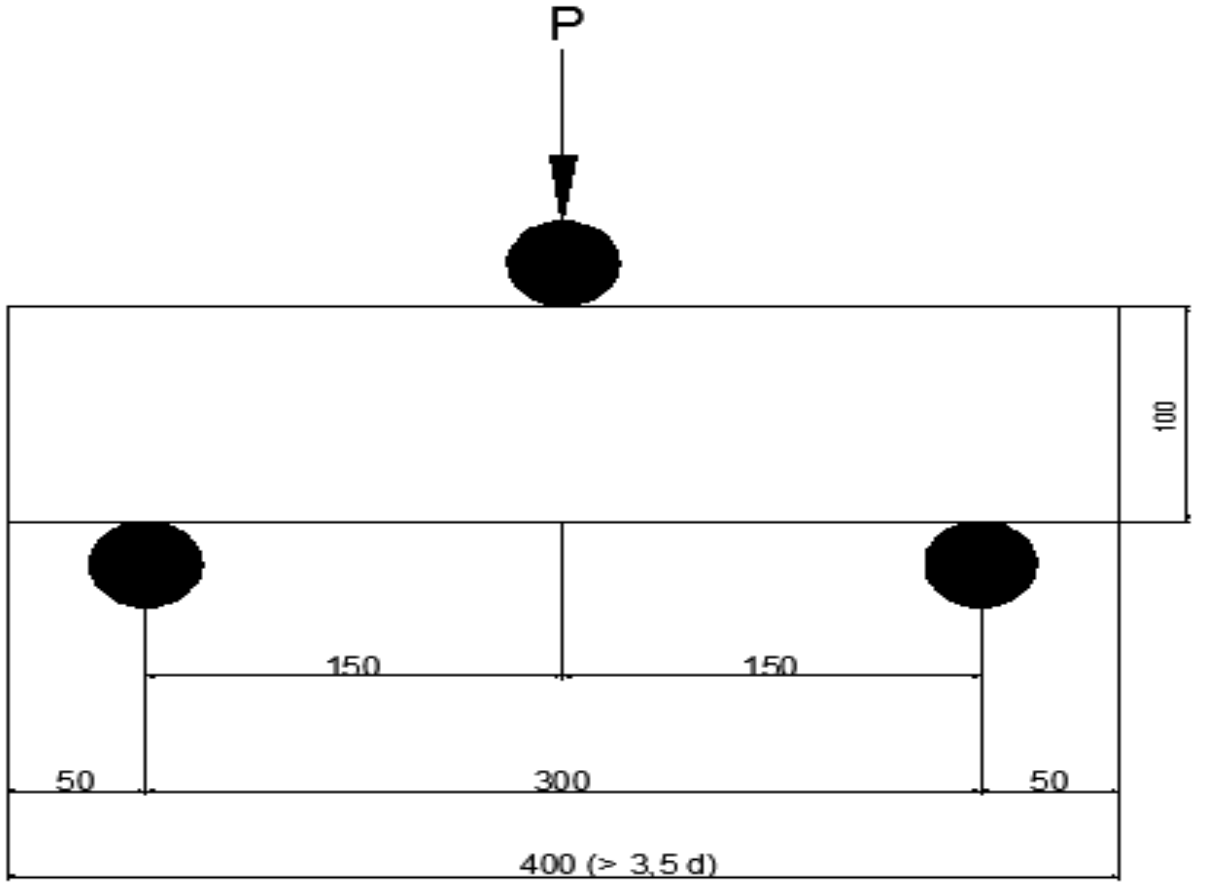
P : Kırılma anında ki en büyük yük, N

A_c : Basınç yükünün uygulandığı en kesit alanı, mm^2

Basınç deneylerinde lifli ve lifsiz olmak üzere tüm beton karışımlarından üçer adet olmak üzere $15 \times 15 \times 15$ cm boyutlarında hazırlanmıştır. Basınç deneyleri Bitlis İli Tatvan İlçesinde Adabağ Hazır Beton Laboratuvarında yapılmıştır.

2.8. Eğilme Deneyleri

TS EN 12390-5 (2010) standardı esas alınarak yükleme hızı $0,04$ MPa/s ($N/mm^2 \cdot s$) ile $0,06$ a/s ($N/mm^2 \cdot s$) arasında sabit gerilme artış hızı sağlanacak şekilde ayarlanmıştır. Tüm deneylerde sabit gerilme ayarlanarak artış hızı $0,05$ MPa/s olarak alınmıştır. Eğilme deneyleri Bitlis İli Tatvan İlçesinde faaliyet gösteren Van gölü Yapı Kalite Kontrol Laboratuvarı İnşaat San. ve Tic. Ltd. Şti.' de yapılmıştır. Eğilme deneyi şekilsel görünümü Şekil 2.9' da gösterilmiştir.



Şekil 2.9. Eğilme deneyi şekilsel görünümü

Deney cihaz yükleme hızı, Eşitlik (2.4)' den hesaplanmıştır (TS EN 12390-5:2010):

$$R = 2 \cdot d_1 \cdot d_2^2 \cdot s / 3 \cdot L \quad (2.4)$$

Burada ;

- R : Gerekli yükleme hızı (N/s),
- s : Gerilme artış hızı (MPa/sn),
- L : Mesnet silindirleri arasındaki açıklık (mm),
- d_1 : Numunenin en kesit yatay boyutu (mm),
- d_2 : Numunenin en kesit düşey boyutu (mm).

Numuneler $10 \times 10 \times 40$ mm olduğundan $d_1 = d_2 = d = 10$ mm alınmıştır. Eğilme dayanımı, TS EN 12390-5 (2010)'da belirtilen Eşitlik (2.5) ile hesaplanmaktadır.

$$f_{cf} = 3 \cdot P \cdot L / 2 \cdot d_1 \cdot d_2^2 \quad (2.5)$$

Burada;

- f_{cf} : Eğilme dayanımı (MPa),
P : En büyük yük (N),
L : Mesnet silindirleri arasındaki açıklık (mm),
 d_1 : Numunenin en kesit yatay boyutu (mm),
 d_2 : Numunenin en kesit düşey boyutu (mm).

2.9. SEM ve EDX Analizleri

Bir taramalı elektron mikroskopunda (Scanning Electron Microscope-SEM) görüntü oluşumu temel olarak; elektron demetinin incelenen örneğin yüzeyi ile yaptığı fiziksel etkileşmelerin (elastik, elastik olmayan çarpışmalar ve diğerleri) sonucunda ortaya çıkan sinyallerin toplanması ve incelenmesi prensibine dayanır [47].

Tez çalışmasında, numuneler üzerinde elementsel kompozisyonu belirlemek için EDX (Energy dispersive X-Ray) analizi de yapılmıştır.

Tez çalışmasında SEM ve EDX analizleri İnönü Üniversitesi İleri Teknoloji Araştırma Laboratuvarında yapılmıştır.

2.10. XRD Analizleri

X-Işını Kırınım yöntemi (X-Ray diffraction-XRD), her bir kristalin fazın kendine özgü atomik dizilimlerine bağlı olarak X-ışınları karakteristik bir düzen içerisinde kırması esasına dayanır. Her bir kristalin faz için bu kırınım profilleri bir nevi parmak izi gibi o kristali tanımlar. X-Işını Kırınım cihazıyla kayaçların, kristalin malzemelerin, ince filmlerin ve polimerlerin nitel ve nicel incelemeleri yapılabilir. Özellikle optik yöntemler ile incelemelerin sınırlı veya imkansız olduğu kayaç, cevher, kil mineralleri, endüstriyel hammaddeler ve kristal malzemelerin nitel ve nicel olarak analizleri yapılmaktadır. Toz haline getirilen numuneler, özel numune tutuculara konularak XRD cihazına yerleştirilir ve analiz edilir [48].

Tez çalışmasında beton numunelerin XRD analizleri İnönü Üniversitesi İleri Teknoloji Araştırma Laboratuvarında yapılmıştır.

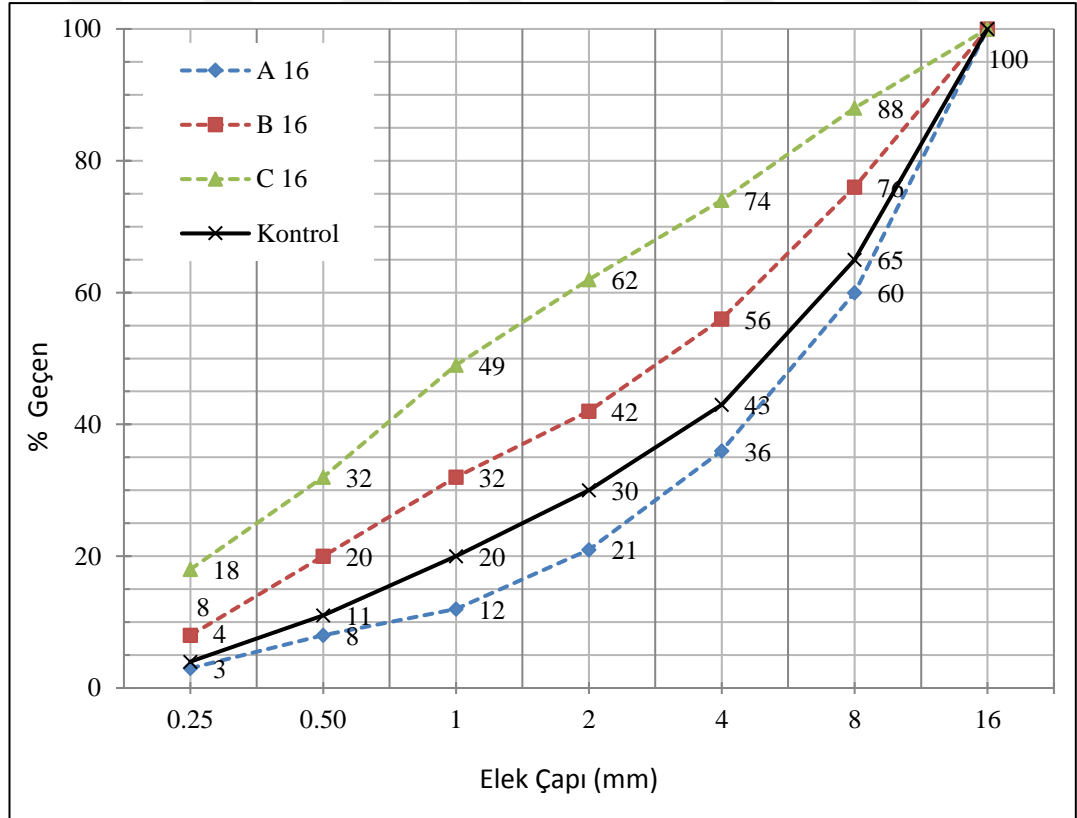
2.11. Elek Analizi

Kontrol numunesi elek analizi Çizelge 2.19'da görülmektedir.

Çizelge 2.19. Kontrol 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	1050	1050	35	65
4	660	1710	57	43
2	390	2100	70	30
1	300	2400	80	20
0,5	270	2670	89	11
0,25	210	2880	96	4

Kontrol numunesi elek analiz grafiği Şekil 2.16'da görülmektedir. Şekil 2.16'da görüldüğü gibi kontrol numunesi agrega granülometrisi TS802'ye uygundur.



Şekil 2.10. Kontrol betonu elek analizi grafiği

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

3.1. Basınç ve Eğilme Deneyleri

3.1.1. Lifsiz ve lifli beton basınç ve eğilme deneyleri

Toplamda 7 tane farklı beton üretilmiştir. Bu betonların her birinden 3 'er numune 3 farklı kür için hazırlanmıştır (21 grup beton). Elde edilen sonuçları ortalama değer olarak aşağıda ki çizelgelerde gösterdim. Hazırlanan numuneler kalıplara yerleştirilmiştir. Kalıp içerisine sıkıştırma basıncı uygulanmamıştır. Numuneler kalıplara şişle sıkıştırılarak yerleştirilmiştir. 24 saat kalıpta bekletilen numuneler her beton türünden üçer adet numune olmak üzere 7 ve 28 günlük 20⁰C standart su kürü ile kombine küre alınmıştır. Kombine kür olarak numunelere 4 gün su (20⁰C) +2 gün etüv (180⁰C) uygulanmıştır. Kür sonrası tüm lifsiz ve lifli beton numunelerin basınç ve eğilme deneyleri yapılmıştır.

3.1.1.1. Kontrol numunesi beton basınç ve eğilme deney sonuçları

Deney sonuçları Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Kontrol betonu basınç ve eğilme deney sonuçları

Kür Tipi	Ortalama Basınç Dayanımı (MPa)		Ortalama Eğilme Dayanımı (MPa)	
	Lifsiz	Lifli	Lifsiz	Lifli
Standart su kürü (7 gün 20 ⁰ C)	37,2	39,1	4,7	4,9
Standart su kürü (28 gün 20 ⁰ C)	42,0	45,0	5,3	5,5
Kombine kür (4 gün 20 ⁰ C su + 2 gün 180 ⁰ C etüv)	47,0	50,7	5,9	6,2

3.1.1.2. Mermer betonu basınç ve eğilme deney sonuçları

Deney sonuçları Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Mermer betonu basınç ve eğilme deney sonuçları

Kür Tipi	Ortalama Basınç Dayanımı (MPa)		Ortalama Eğilme Dayanımı (MPa)	
	Lifsiz	Lifli	Lifsiz	Lifli
Standart su kürü (7 gün 20 ⁰ C)	43,0	46,0	3,3	4,2
Standart su kürü (28 gün 20 ⁰ C)	48,6	52,0	3,7	4,7
Kombine kür (4 gün 20 ⁰ C su + 2 gün 180 ⁰ C etüv)	50,0	58,0	4,5	5,4

3.1.1.3. Ham perlit betonu basınç ve eğilme deney sonuçları

Deney sonuçları Çizelge 3.3’de verilmiştir.

Çizelge 3.3. Ham perlit betonu basınç ve eğilme deney sonuçları

Kür Tipi	Ortalama Basınç Dayanımı (MPa)		Ortalama Eğilme Dayanımı (MPa)	
	Lifsiz	Lifli	Lifsiz	Lifli
Standart su kürü (7 gün 20 ⁰ C)	44,8	50,2	3,4	5,8
Standart su kürü (28 gün 20 ⁰ C)	50,7	56,2	3,9	6,7
Kombine kür (4 gün 20 ⁰ C su + 2 gün 180 ⁰ C etüv)	54,1	74,1	4,1	8,5

3.1.1.4. Genleştirilmiş perlit betonu basınç ve eğilme deney sonuçları

Deney sonuçları izelge 3.4’de verilmiştir.

Çizelge 3.4. Genleştirilmiş perlit betonu basınç ve eğilme deney sonuçları

Kür Tipi	Ortalama Basınç Dayanımı (MPa)		Ortalama Eğilme Dayanımı (MPa)	
	Lifsiz	Lifli	Lifsiz	Lifli
Standart su kürü (7 gün 20 ⁰ C)	18,8	20,1	1,4	2,2
Standart su kürü (28 gün 20 ⁰ C)	21,2	22,7	1,6	2,5
Kombine kür (4 gün 20 ⁰ C su + 2 gün 180 ⁰ C etüv)	22,9	29,7	1,7	3,5

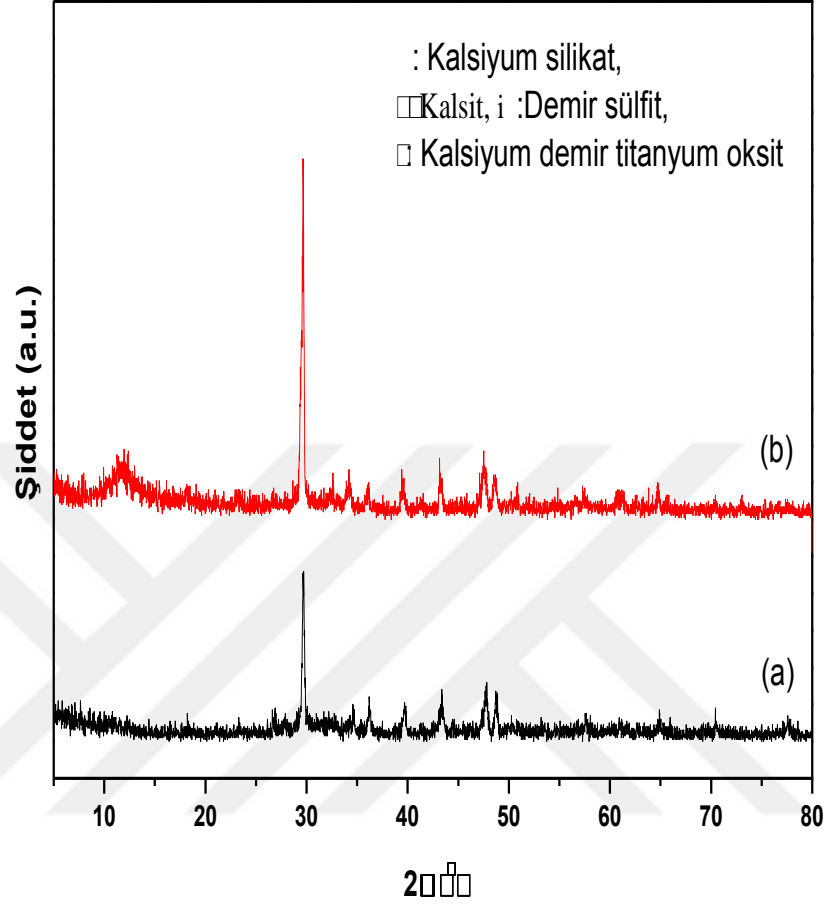
3.2. Basınç ve Eğilme Deneyleri Genel Sonuçları

Lifli ve lifsiz betonların basınç ve eğilme genel sonuçları izelge 3.5’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.5. Lifli ve lifsiz betonların basınç ve eğilme deneyi sonuçları

Kür Tipi	Ortalama Basınç Dayanımı (MPa)								Ortalama Eğilme Dayanımı (MPa)							
	Lifsiz				Lifli				Lifsiz				Lifli			
	Kontrol	Mermer	Ham Perlit	Genleştirilmiş Perlit	Kontrol	Mermer	Ham Perlit	Genleştirilmiş Perlit	Kontrol	Mermer	Ham Perlit	Genleştirilmiş Perlit	Kontrol	Mermer	Ham Perlit	Genleştirilmiş Perlit
Standart su kürü (7 gün 20°C)	37,2	43,0	44,8	18,8	39,1	46,0	50,2	20,1	4,7	3,3	3,4	1,4	4,9	4,2	5,8	2,2
Standart su kürü (28 gün 20°C)	42,0	48,6	50,7	21,2	45,0	52,0	56,2	22,7	5,3	3,7	3,9	1,6	5,5	4,7	6,7	2,5
Kombine kür (4 gün 20°C su + 2 gün 180°C etüv)	47,0	50,0	54,1	22,9	50,7	58,0	74,1	29,7	5,9	3,8	4,1	1,7	6,2	5,4	8,5	3,5

3.3. XRD Analizleri

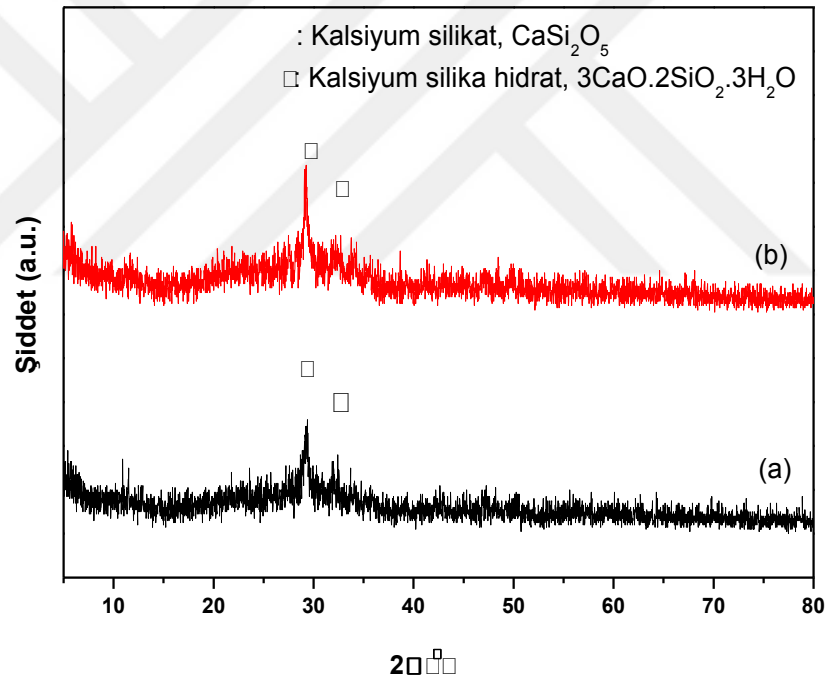


Şekil 3.1. Mermer betonu XRD grafiği (a) lifsiz beton (b) lifli beton

Üretilen beton numunelerinde faz analizini yapmak için XRD çalışmaları yapılmıştır. XRD çalışmaları, 0,154 nm dalga boyunda CuK α radyasyonu kullanılarak bir (Rigaku RadB- Dmax II ve Rigaku RINT- 2000 X) marka X-ışını difraktometresi ile yapıldı. Faz tanımlaması için ölçümler, 40 kV ve 30 mA akım altında 0,02/s tarama hızı ile kırılma açısı (25°'den 80°'ye kadar tarandı. Şekil 3.1 mermer agregalı ve mermer agregalı lifli beton numunesine ait XRD sonuçlarını göstermektedir. Şekil 3.1'den elde edilen sonuçlar Çizelge 3.6'da verilmiştir. Şekil 3.1'de ve Çizelge 3.6'da açıkça görüldüğü gibi mermer agregalı beton numunesine çelik lifleri karıştırıldığında numunelerin çoğunluğunu oluşturan ana fazların değişmediği anlaşılmaktadır. Ancak 2 θ =32.620° ve 2 θ =34.236° yansımalarında farklı faz pikleri elde gözlenmiştir. Bu fazların beton içerisinde çelik lif kaynaklı veya oksitlenme kaynaklı kimyasal reaksiyonlar sonucu meydana geldiği düşünülmektedir [49].

Çizelge 3.6. Mermer betonu XRD sonuçları

2-Theta (°)	d(A)	Şiddet	FWHM	Faz
29.680	3.0075	428	0.292	Kalsiyum silikat, CaSi_2O_5
36.201	2.4793	99	0.287	Kalsiyum silikat, CaSi_2O_5
39.699	2.2685	96	0.309	Kalsit, CaCO_3
43.380	2.0842	124	0.320	Demir sülfür, FeS
47.801	1.9012	133	0.416	Kalsiyum silikat, CaSi_2O_5
48.739	1.8668	124	0.273	Kalsiyum demir titanyum oksit, $\text{CaFe}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$
64.897	1.4356	75	0.188	Demir sülfür, FeS

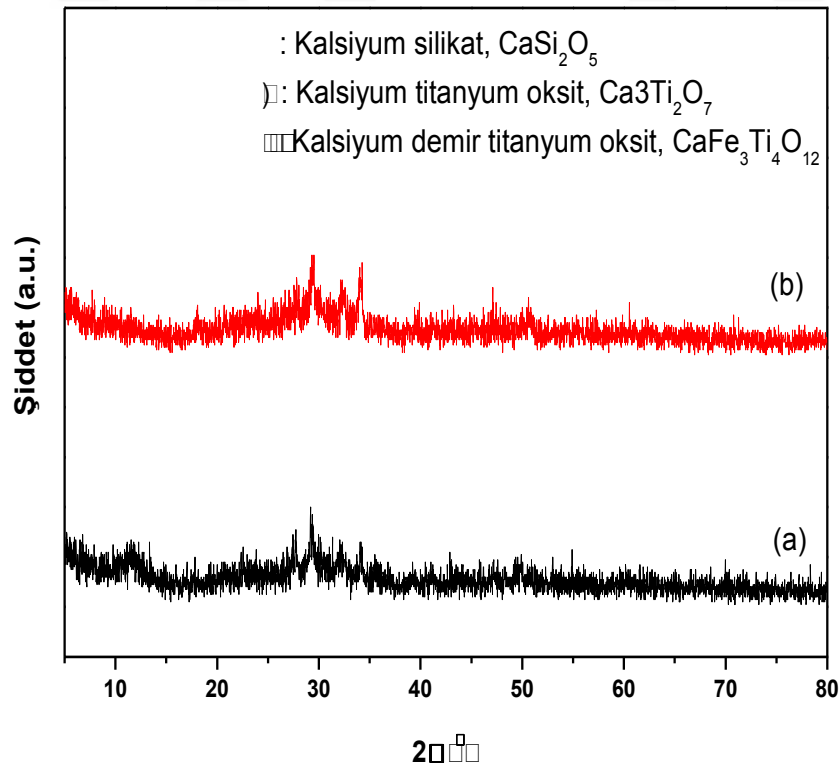


Şekil3.2. Ham perlit betonu XRD garfiği (a) lifsiz beton (b) lifli beton

Şekil 3.2 ham perlit agregalı ve ham perlit agregalı lifli beton numunesine ait XRD sonuçlarını göstermektedir. Şekil 3.2 incelendiğinde perlit agregalı beton numunelerinde silis dumanı reaksiyonları sonucu kalsiyum silikat ve kalsiyum silikat hidrat fazları oluştuğu görülmektedir. $2\theta = 29^\circ$ civarında geniş ve maksimum şiddetli görülen pik beton numunesinde C-S-H yoğunluğunun arttığını ifade etmektedir. Ayrıca Şekil 3.2’de görüldüğü gibi ham perlit

agregalı beton numunesi ile ham perlit agregalı lifli beton numunesi XRD sonuçları karşılaştırıldığında beton numunelerine lif katma ile yeni fazlar oluşmadığı görülmekte ve böylece lif numunelerinin perlit içerisinde homojen dağıldığı anlaşılmaktadır [49].

Genleştirilmiş perlit agregalı ve genleştirilmiş perlit agregalı lifli beton numunesine ait XRD analiz sonuçları Şekil 3.3'te verilmiştir. Şekil 3.3'teki XRD grafiklerinde görülen faz piklerine ait veriler Çizelge 3.7'de verilmiştir. Şekil 3.3 ve Çizelge 3.7'de görüldüğü gibi hem genleştirilmiş perlit agregalı beton numunesi hem de genleştirilmiş perlit agregalı lifli beton numunesi kalsiyum silikat (CaSi_2O_5), kalsiyum titanyum oksit ($\text{Ca}_3\text{Ti}_2\text{O}_7$) ve kalsiyum demir titanyum oksit ($\text{CaFe}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$) fazlarını göstermişlerdir. Ancak genleştirilmiş perlit agregalı beton numunesi kristalik faz yoğunluğu genleştirilmiş perlit agregalı lifli beton numunesi kristalik faz yoğunluğuna göre daha azdır. Bunun sebebinin beton numunesi lifli durumda iken homojenliğin azalması ve kusurların artması olabileceği düşünülmektedir. Bu durum malzemenin mekaniksel özellikleri açısından dezavantaj olabilmektedir. XRD sonuçlarına göre Şekil 3.3(a) ve Şekil 3.3(a) grafikleri amorf yapıya benzerlikleri ile dikkat çekmektedirler. Bu numunelere lif eklenmesiyle kompozit bir yapı oluşmakta, bu durumda mekaniksel özellikler de olumlu yönde etkilenmektedir [49].

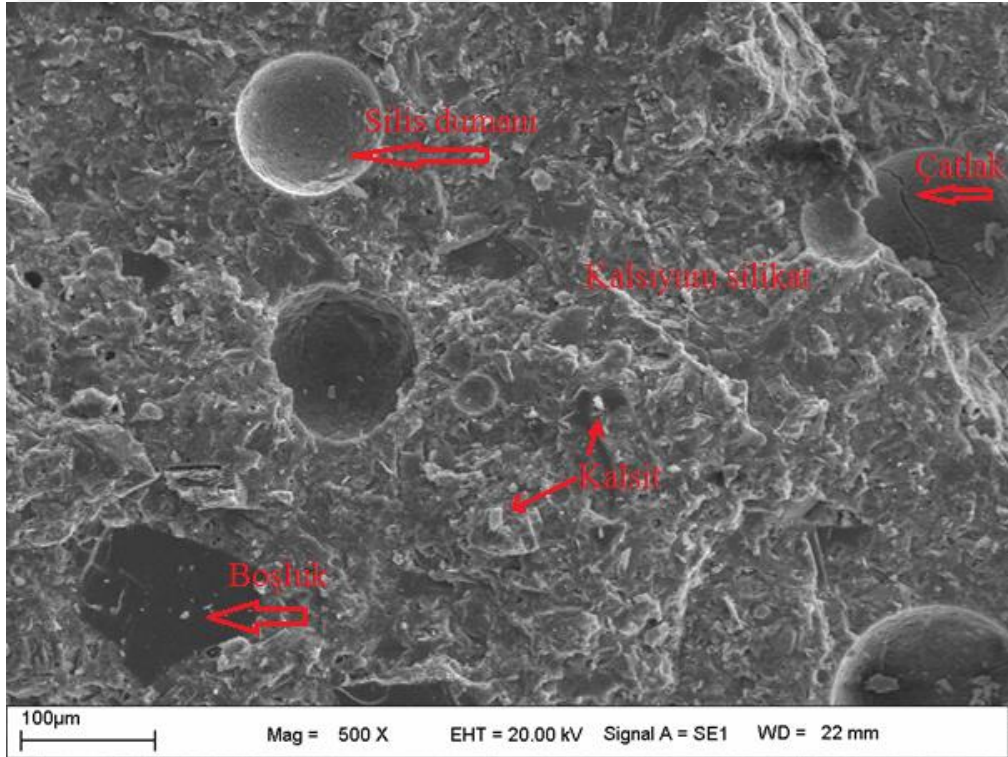


Şekil 3.3. Genleştirilmiş perlit betonu XRD grafiği (a) lifsiz beton (b) lifli beton

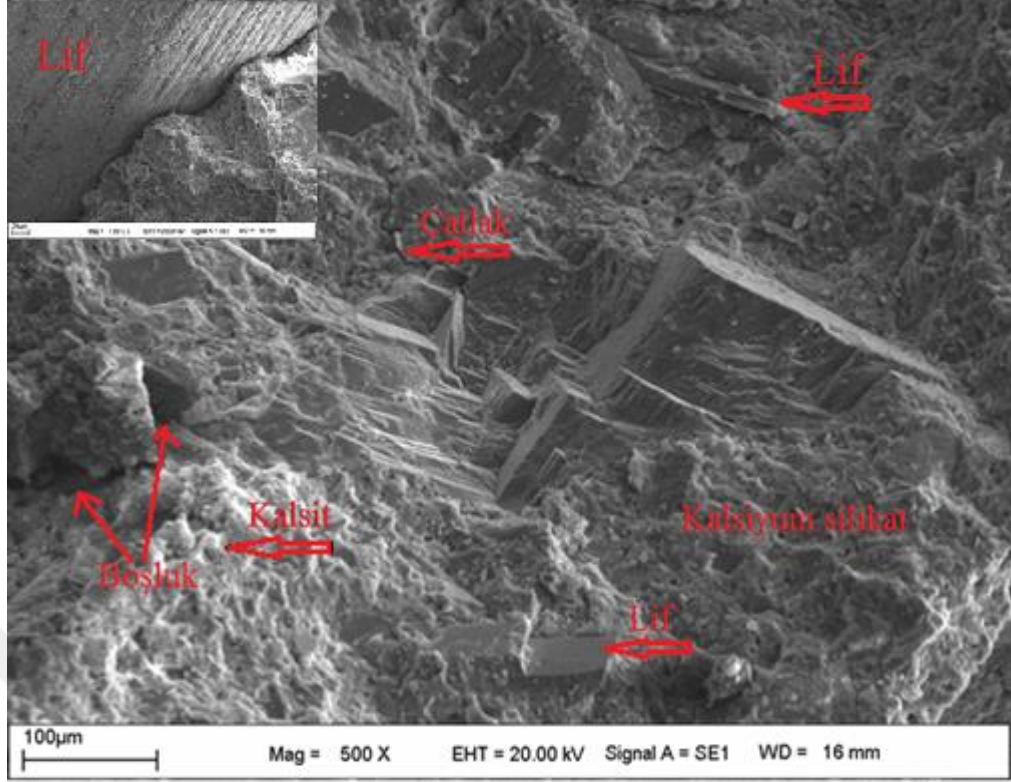
Çizelge 3.7. Genleştirilmiş perlit betonu XRD sonuçları

2-Theta ()	d(A)	Şiddet	FWHM	Faz
29.502	3.0253	192	0.298	Kalsiyum silikat, CaSi_2O_5
32.261	2.7726	135	0.407	Kalsiyum titanyum oksit, $\text{Ca}_3\text{Ti}_2\text{O}_7$
34.079	2.6287	157	0.396	Kalsiyum silikat, CaSi_2O_5
34.082	2.6145	142	0.389	Kalsiyum demir titanyum oksit, $\text{CaFe}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$
47.120	1.9271	108	0.266	Kalsiyum silikat, CaSi_2O_5
50.621	1.8017	90	0.351	Kalsiyum demir titanyum oksit, $\text{CaFe}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$

3.4. SEM Analizleri



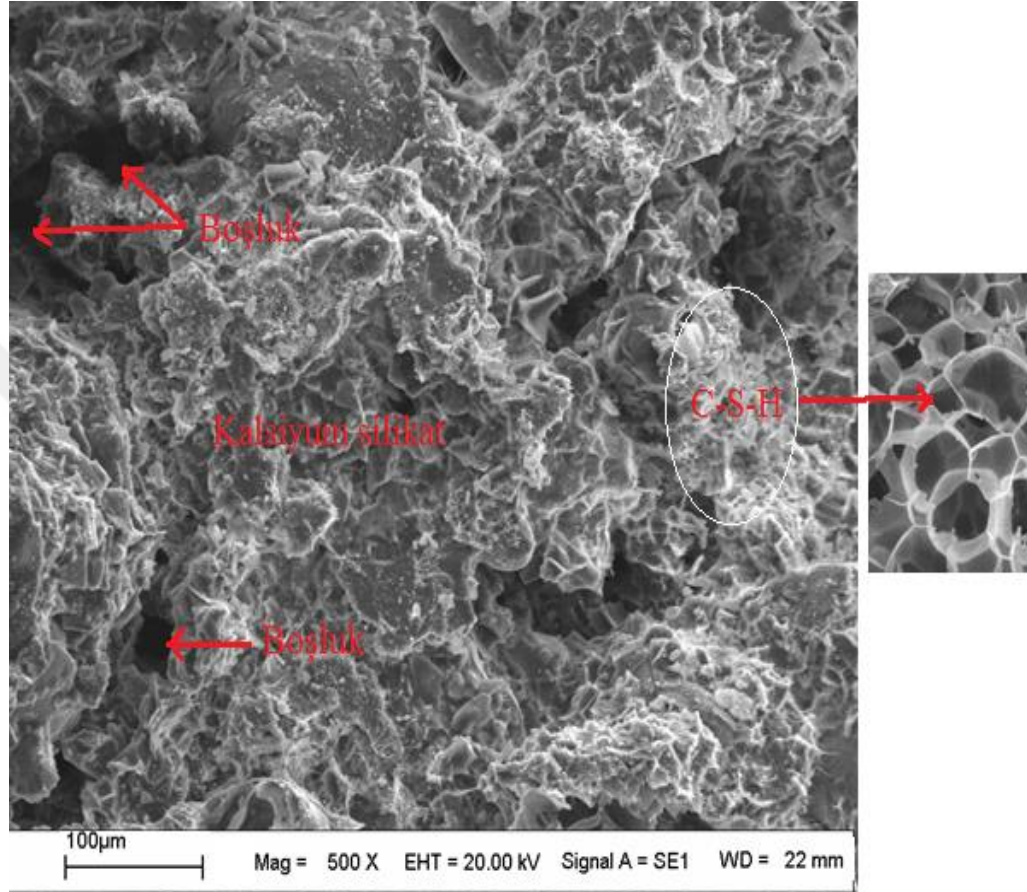
Şekil 3.4. Mermer-lifsiz beton SEM görüntüsü



Şekil 3.5. Mermer-lifli beton SEM görüntüsü

Mermer agregalı beton numunesi ve mermer agregalı lifli beton numunesi içerisinde silis dumanı ve çimento kaynaklı reaksiyonlar sonucu oluşan fazları karakterize etmek ve numunenin mikro yapısal değişiklikleri incelemek için Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile fotoğraflar çekilmiştir. Mermer agregalı beton numunesine ait fotoğraflar Şekil 3.4 ve Şekil 3.5 de görülmektedir. Şekillerde de görüldüğü gibi matris olarak gri renkte kalsiyum silikat, parlak renkte kalsit ve az miktarda silis dumanı fazları açıkça gözlenmiştir. Ayrıca boşluk ve çatlak kusurları da net olarak görülmektedir. SEM görüntüsüne göre çatlak uzunlukları 200µm'ye kadar çıkmakta ve boşluk çapı ise 10-100µm aralığında değişmektedir. Beton matrisi içerisinde çimento ile bağlanmamış kalsit tabakaları homojen olarak dağılmakta ve ayrıca mermer tozu ve çimento etkileşimi nedeniyle ortamda portlandit görülmemekte olup XRD verileri de portlandit varlığını göstermemektedir. Şekil 3.5 içerisinde görülen büyütülmüş SEM görüntüsünde ise lif ile matris malzemesi ara yüzeyi görülmektedir. Bu görüntüde lif ile matris malzemesi arasında yer yer çok küçük boşluklar olsa da iyi bir kaynaşma olduğu görülmekte ve böylece betona katılan lifin, betonun mekaniksel özelliklerini arttıracakları anlaşılmaktadır. Genel olarak incelendiğinde bir homojen yapı gözlenmekte ve agrega-çimento-su reaksiyonunda iyi bir aderans ilişkisi olduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca SEM görüntülerinin XRD sonuçları ile uyum içinde olduğu doğrulanmıştır. XRD analizlerinde görülen kalsiyum demir titanyum oksit ve demir sülfür fazları

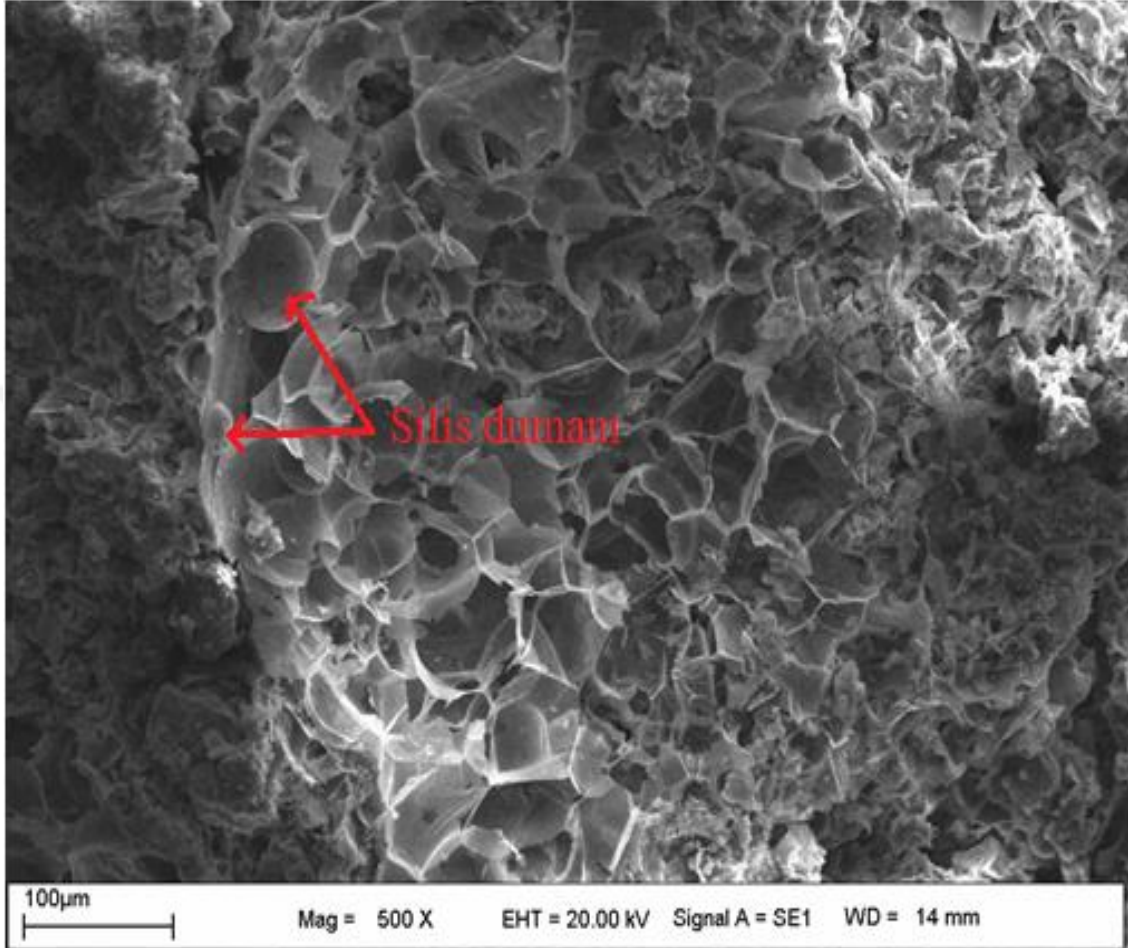
yoğunluğu beton numunesi içerisinde düşük olduğundan diğer fazlar içerisinde homojen dağılmış durumda ve bundan dolayı da SEM görüntülerinde fark edilmemektedir. Elde edilen veriler yapılan benzer çalışmaları desteklemektedir [49]. Ancak bu fazlar yüksek çözünürlüklü SEM görüntülerinde gözlenebilir.



Şekil 3.6. Ham perlit-lifsiz beton SEM görüntüsü

Doğal şartlarda oluşan perlit silis bazlı volkanik bir kayadır. Bu silis bazlı kayaların kırılmasıyla veya öğütülmesiyle ham perlit elde edilir. Çalışmamızda beton numunesine katkı malzemesi olarak ham perlit ve genleştirilmiş perlit ilave edildi ve beton kalitesine etkileri araştırıldı. Ham perlit agregalı ve ham perlit agregalı lifli beton numunesinde mikro yapısal değişimleri incelemek için SEM analizleri yapılmıştır. Ham perlit agregalı beton numunesine ait SEM görüntüleri Şekil 3.6'da verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi kalsiyum silikat ve kalsiyum silikat hidrat (C-S-H) fazları açıkça görülmektedir. Kalsiyum silikat yoğunlukta olduğu için matris fazı görevini görmekte ve diğer fazlarla aderans ilişkisi oldukça iyidir. Yalnız numune içerisinde porozite miktarı oldukça fazla olmasına rağmen mikro çatlaklar görülmemektedir. Şekil 3.6'da görüldüğü gibi C-S-H fazı bölgesinin büyütülmüş SEM görüntüsü alındığında faz içerisinde

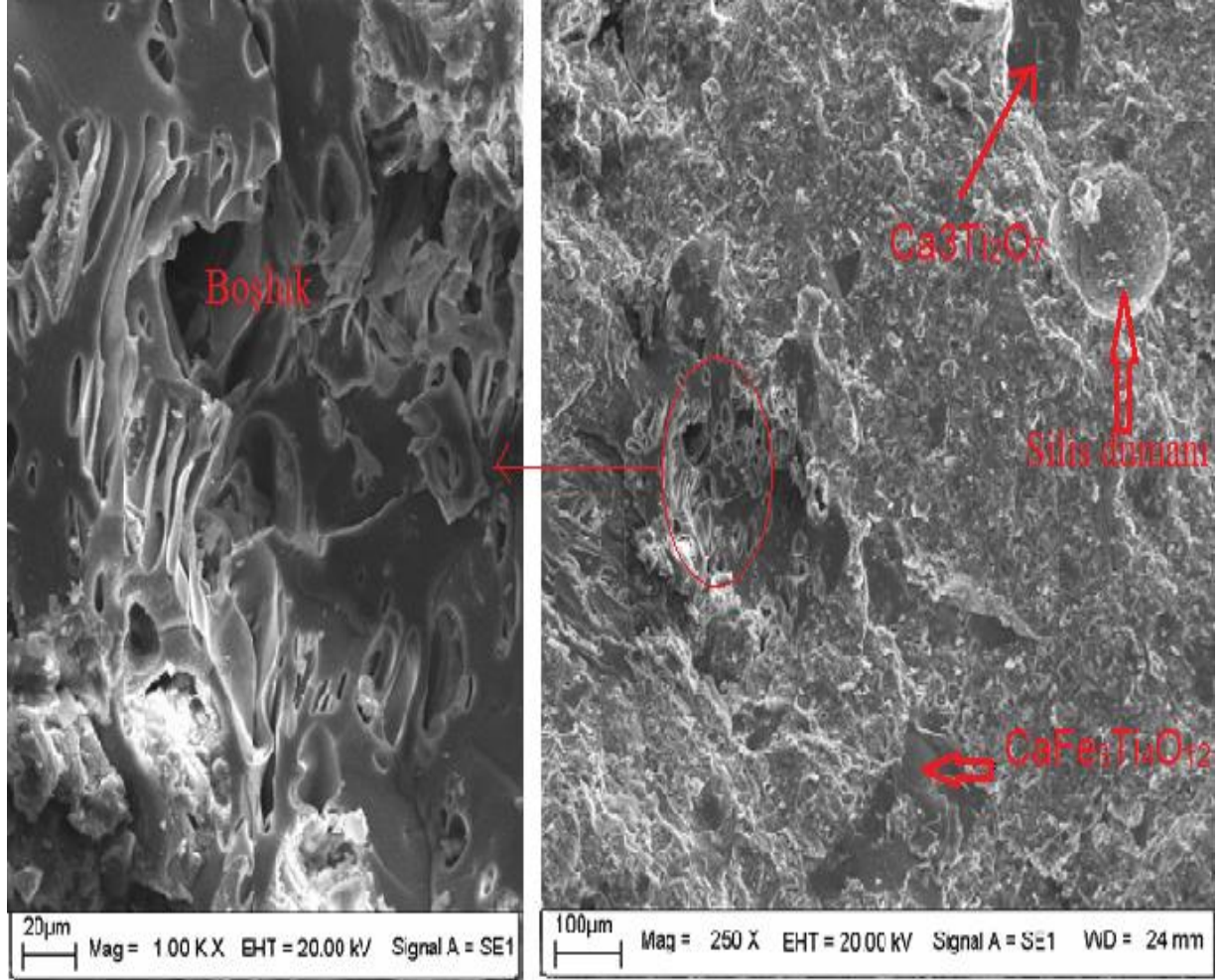
oldukça fazla boşluklarının olduğu ve yapısının bal peteği yapısına benzediği açıkça görülmüştür. Bu yapıdan dolayı beton numunesinin daha hafif ve ısı yalıtkanlığının iyi olacağı anlaşılmaktadır. Sonuçlar önceki çalışmalar ile desteklenmektedir [50].



Şekil 3.7. Ham perlit - lifli beton SEM görüntüsü

Ham perlit agregalı lifli beton numunesinin SEM görüntüsü (Şekil 3.7) incelendiğinde Şekil 3.7'de görülen fazların burada da bulunduğu açıkça görülmektedir. Yalnız ham perlit agregalı lifli beton numunesinde boşluklar oldukça küçük boyutta olup fazla gözlenmemiştir. S-C-H jelleri ile kalsiyum silikat fazları homojen bir karışım sağlayarak lif malzemelerini hapsedmişlerdir. Ayrıca Şekil 3.7' de açıkça görüldüğü gibi silis dumanı, C-S-H kaynaklı veya diğer mikro boşlukları doldurmuştur. Silika dumanı, C-S-H fazlarının çekirdeklenmesini sağlayarak kristalleşmiş bölgeler oluşturur. Şekil 3.7'de görüldüğü gibi C-S-H fazlarının kristalleşerek daha fazla büyümesi, mikro yapıda yoğunluk artışına neden olur. Sonuç olarak yapıda çatlak ve boşluk miktarının düşük olması, fazlar arası aderans ilişkisinin iyi olması ve homojen bir yapı oluşması ham perlit agregalı lifli beton numunesinin mekanik özelliklerinin

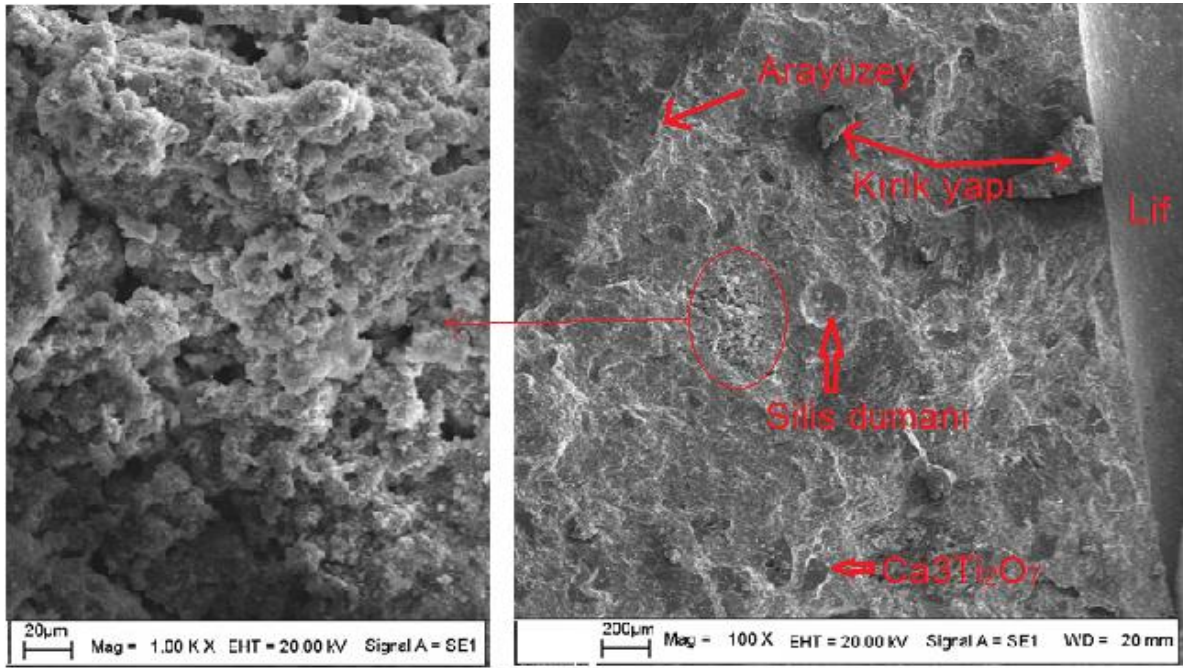
çalışmamızdaki diğer beton numunelerin mekanik özelliklerinden üstün olacağı görülmüştür. Basınç dayanımı deney sonuçları da bunu doğrulamaktadır [50].



Şekil 3.8. Genleştirilmiş perlit - lifsiz beton SEM görüntüsü

Genleştirilmiş perlit agregalı beton numunesine ait SEM görüntüsü Şekil 3.8’de verilmiştir. Şekil 3.8 incelendiğinde XRD sonuçları ile uyumlu fazlar gözlenmiştir. Ayrıca Şekil 3.8’de büyütülmüş SEM görüntüsü incelendiğinde C-S-H fazının bir boşluk etrafında yoğun şekilde çekirdeklenmeye çalıştığı fakat büyüyerek kararlı bir kristal yapı oluşmadığı görülmektedir. Aynı zamanda genleştirilmiş perlit agregası malzemesi ile reaksiyona giren çimento malzemesi arasındaki aderans ilişkisi zayıf oluşmakta ve dolayısıyla kırılgan bir bağ oluşumu söz konusudur. Ayrıca, kalsiyum titanyum oksit ($\text{Ca}_3\text{Ti}_2\text{O}_7$) ve kalsiyum demir titanyum oksit ($\text{CaFe}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$) fazları matris içerisinde homojen olarak dağılım göstermemiştir. Bütün bunlar dikkate alındığında genleştirilmiş perlit agregalı beton numunesinin mekanik özelliklerin iyi olamayacağı

anlaşmıştır. Elde edilen bu sonuçların basınç dayanımı deney sonuçları ile uyum içinde olduğu bulunmuştur. Ayrıca sonuçların yapılan başka çalışmalar ile uyumlu olduğu gözlemlenmiştir [50].



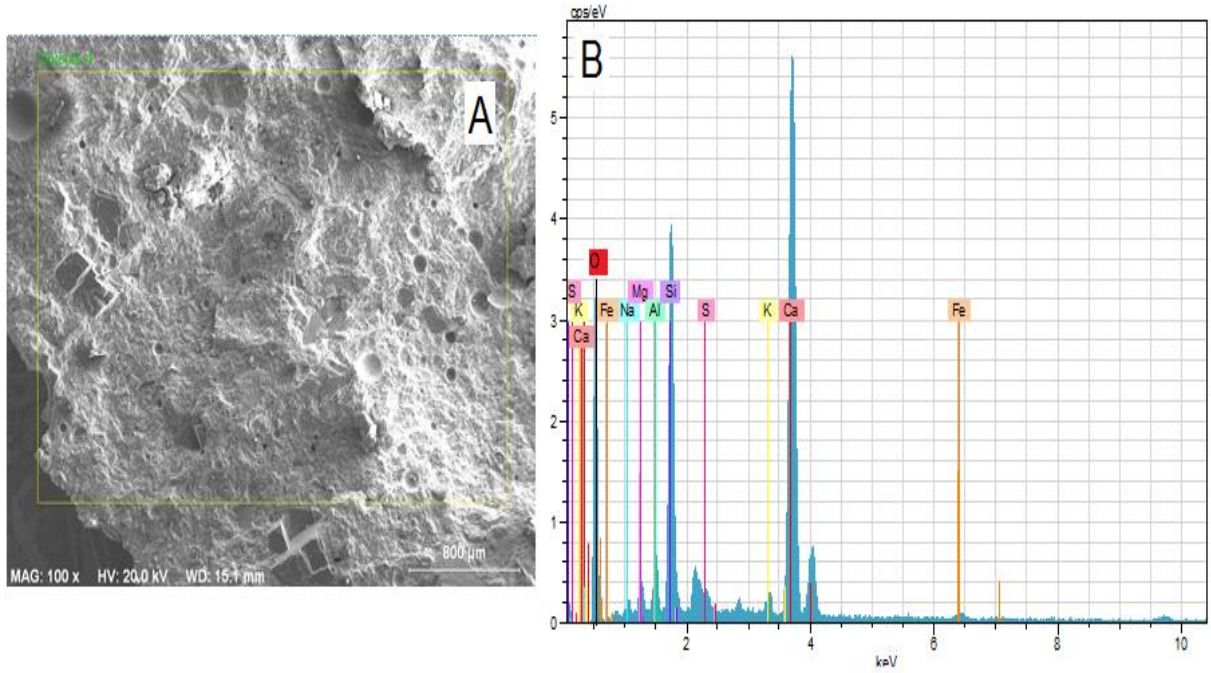
Şekil 3.9. Genleştirilmiş perlit - lifli beton SEM görüntüsü

Genleştirilmiş perlit agregalı lifli beton numunesine ait SEM görüntüsü Şekil 3.9’da verilmiştir. Şekil 3.9’da görüldüğü kalsiyum silikat (açık renkte) ile kalsiyum demir titanyum oksit fazları birbirleriyle karışmamakta ve kırılabilir bir ara yüzey oluşturmaktadır. Ayrıca beton numune içerisinde matris ile kaynaşmamış kırık yapılar görülmektedir. Lif ile matris fazları arasında yoğun bir aderans ilişkisi olduğu tam olarak söylenemez. Şekil 3.9’da bir bölgenin büyütülmüş SEM görüntüsü de görülmektedir. Büyütülmüş görüntü genleştirilmiş perlit agregalı lifli beton numunesini içerisinde agrega-çimento-su arasında bağ reaksiyonlarının tam olarak oluşmadığı çürük bir yapıyı göstermektedir. Bütün bu olumsuzlukların yanında lif sayesinde mekanik özelliklerinin genleştirilmiş perlit agregalı beton numunesinin mekanik özelliklerinden daha üstün olduğu anlaşılmakta ve basınç dayanımı deneylerinde de doğrulanmaktadır. Başka Çalışmalar ile uyumlu sonuçlar elde edilmiştir [50].

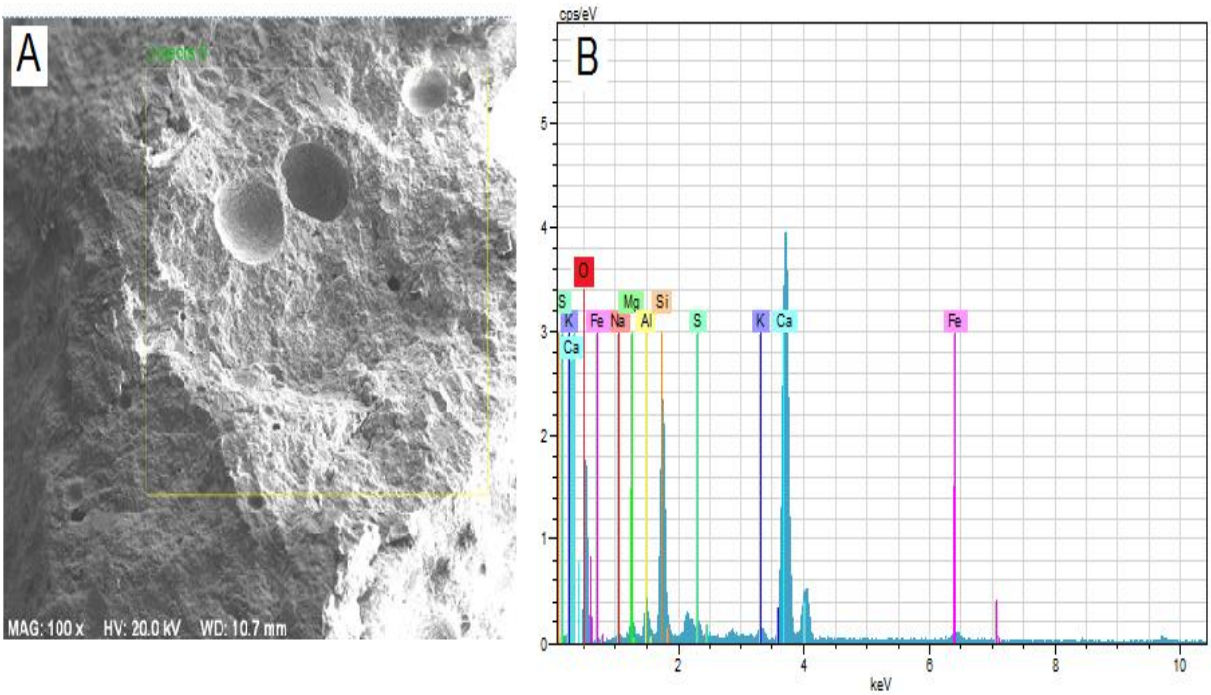
3.5. EDX Analizleri

Enerji dağılımlı X-Işını Analizi (EDX) herhangi bir numune üzerinde seçilen bir nokta veya alanın elementel kompozisyonunu yüzde (%) olarak tespit etmek için SEM cihazı ile beraber

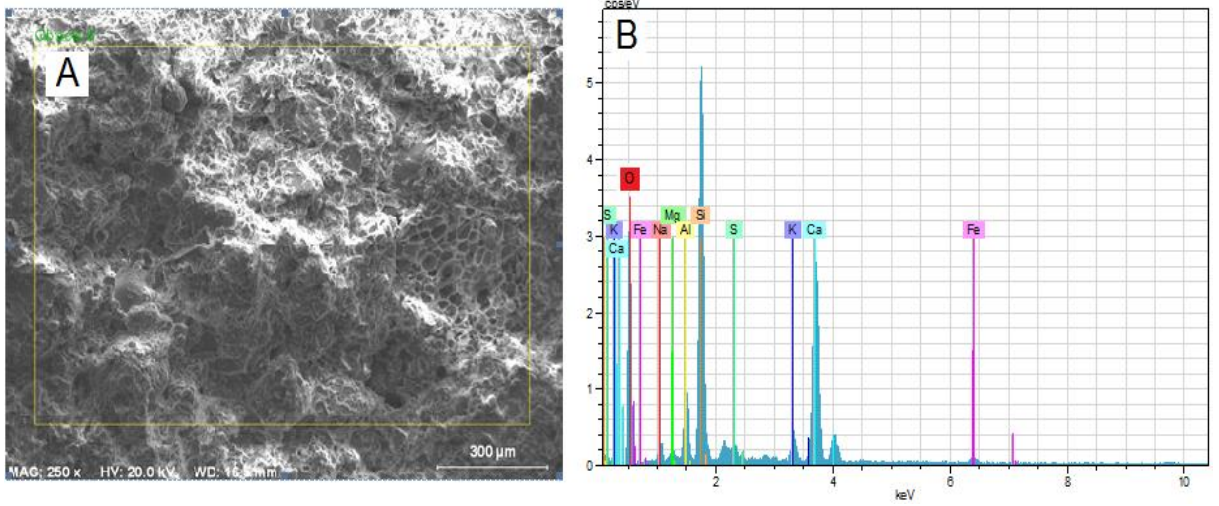
kullanılan bir tekniktir. Ayrıca numune üzerindeki element dağılımının haritalaması yapılarak numunede element dağılım homojenliği hakkında bilgi verebilen bir yöntemdir. Numune içindeki elementlerin yüzde dağılımları, EDX grafiklerinde görülen element pikleri altındaki alanlarla doğru orantılıdır. Tez çalışmamızda üretilen numunelere ait SEM/EDX sonuçları verilmiştir.



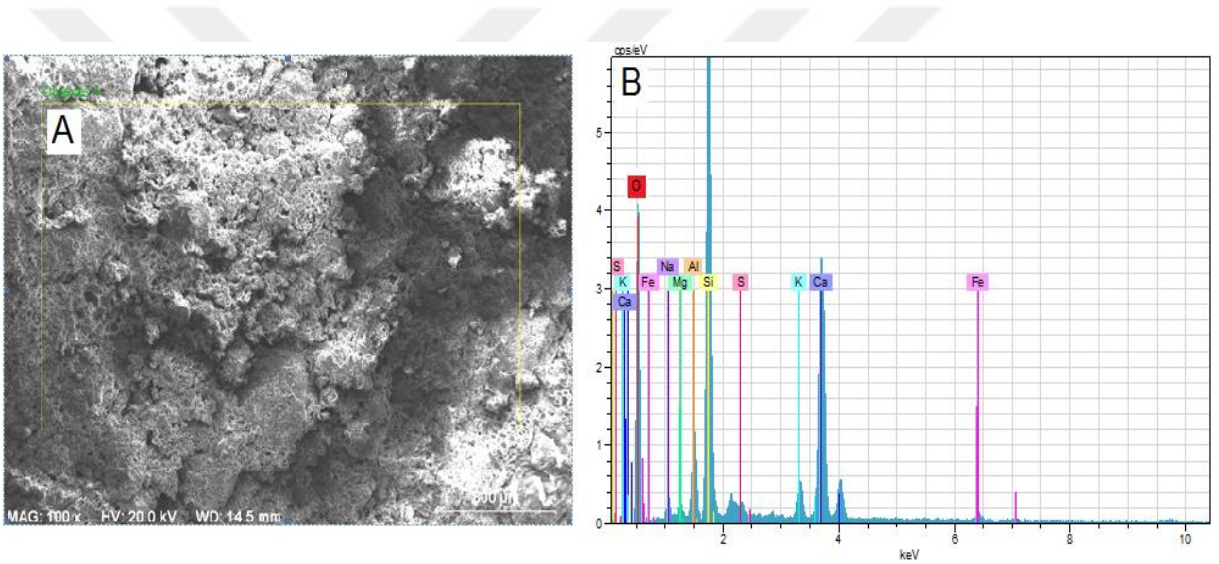
Şekil 3.10. Mermer - lifsiz beton (a) SEM görüntüsü (b) EDX grafiği



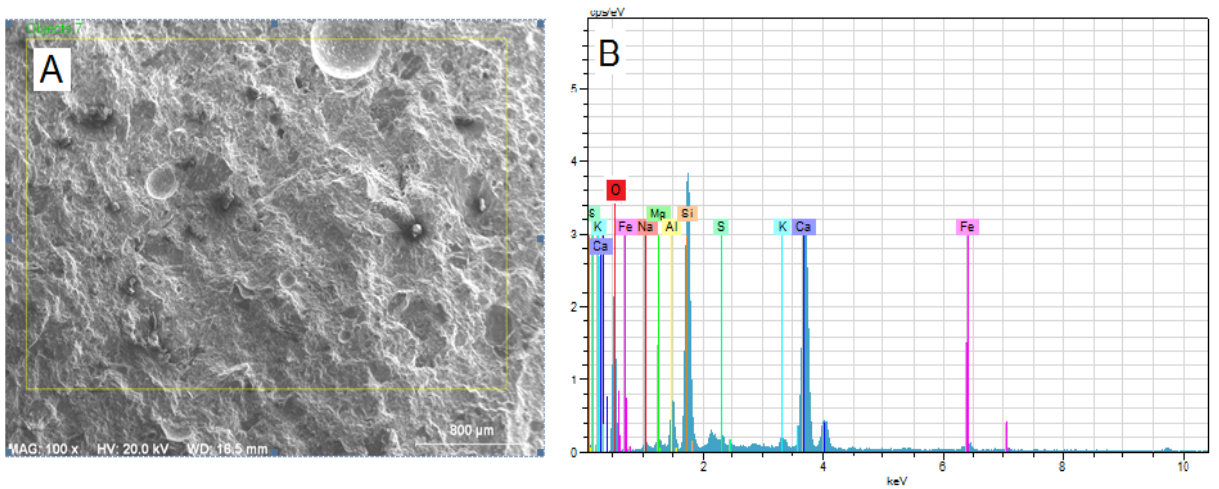
Şekil 3.11. Mermer - lifli beton (a) SEM görüntüsü (b) EDX grafiği



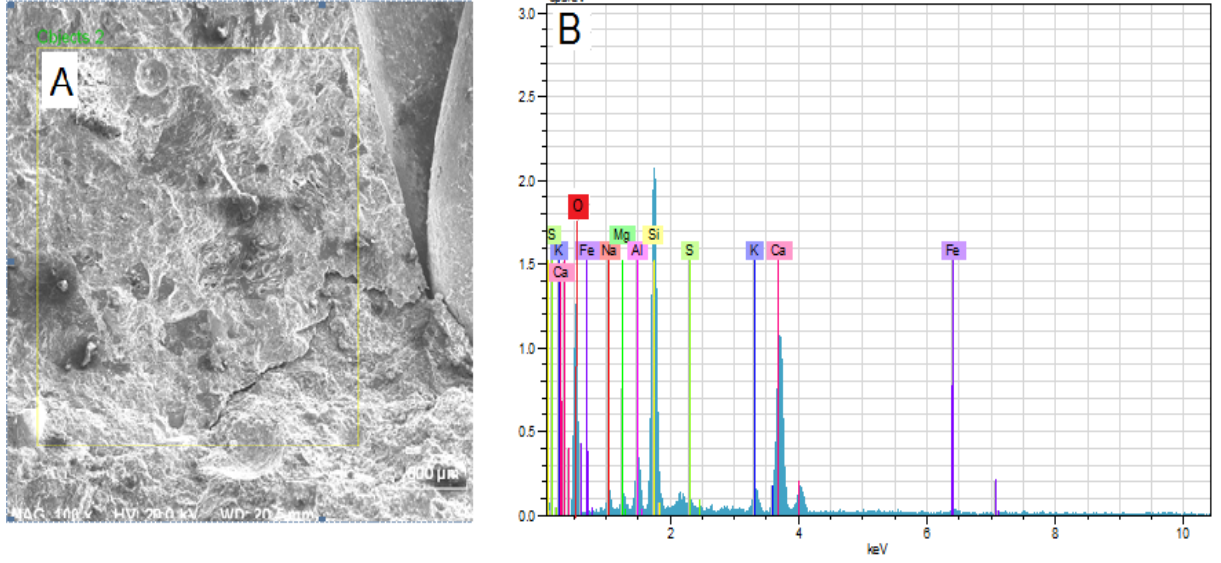
Şekil 3.12. Ham perlit - lifsiz beton (a) SEM görüntüsü (b) EDX grafiği



Şekil 3.13. Ham perlit - lifli beton (a) SEM görüntüsü (b) EDX grafiği



Şekil 3.14. Genleştirilmiş perlit - lifsiz beton (a) SEM görüntüsü (b) EDX grafiği



Şekil 3.15. Genleştirilmiş perlit - lifli beton (a) SEM görüntüsü (b) EDX analizi

Şekil 3.10'da mermer agregalı beton numunesinin SEM görüntüsü ve bu görüntüde A bölgesine ait EDX grafiği görülmektedir. EDX grafiğinde görüldüğü kalsiyum (Ca), silisyum (Si) ve oksijen (O) elementlerine ait pik alanları diğer elementlerin pik alanlarına göre daha fazladır. Bu sonuca göre mermer agregalı beton numunesinde oluşan fazların çoğunluğu, yani numune içerisinde ağırlıkça yüzde (wt %) olarak, bu elementlerin bileşiklerinden oluşmaktadır. XRD sonuçları da bunu doğrulamaktadır. Şekil 3.11'de mermer agregalı lifli beton numunesinin SEM görüntüsü ve bu görüntüde A bölgesine ait EDX grafiği verilmiştir. EDX grafiğinde görüldüğü gibi kalsiyum (Ca), silisyum (Si) ve oksijen (O) elementlerine ait pik şiddetleri diğer piklere göre daha yüksek olup, bu da beton numunesi içerisinde ağırlıkça yüzde (wt %) olarak daha yüksek olduklarını göstermektedir. Bu sonuca göre mermer agregalı lifli beton numunesinde oluşan fazların çoğunluğu, yani numune içerisinde ağırlıkça yüzde (wt %) olarak, bu elementlerin bileşiklerinden oluşmaktadır. Ayrıca, Şekil 3.10 ve Şekil 3.11 EDX grafikleri karşılaştırıldığında önemli bir fark bulunmadığı görülmektedir ki XRD sonuçlarıyla uyum içinde her iki numune de aynı fazların oluştuğu anlaşılmıştır.

Şekil 3.12, Şekil 3.13, Şekil 3.14 ve Şekil 3.15 incelendiğinde, Şekil 3.10 ve Şekil 3.11'de olduğu gibi kendi grupları arasında bir uyum sözü konusu olduğu açıkça görülmektedir. Bu sonuçlara göre çalışmamızda yapılan XRD sonuçları ile SEM/EDX sonuçlarının uyum içinde olduğu bulunmuştur.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada mermer, işlenmemiş perlit (ham perlit) ve işlenmiş perlitin rijit üstyapı beton yol kaplamalarında kullanılabilirliği araştırılmıştır. 1. Tip betonda, beton karışımında 0,18-0,25 mm arası mineral boyuta sahip “mermer kumu” kullanılmıştır. 2. Tip betonda, beton karışımında 0,18-0,25 mm arası mineral boyuta sahip “ham perlit kumu” kullanılmıştır. 3. Tip betonda, beton karışımında 0,18-0,25 mm arası mineral boyuta sahip “genleştirilmiş perlit kumu” kullanılmıştır. Her tip beton lifli ve lifsiz olmak üzere iki şekilde üretilmiştir. Lifli tip beton üretimlerinde kullanılan çelik lifler, 35 mm uzunluğunda 0,7 mm çapındadır. Toplamda 7 tane farklı betondan 3'er tane olmak üzere 21 tane lifsiz beton 21 tane lifli beton üretilmiştir. Üretilen tüm tip beton numunelere, 7-28 gün 20°C standart su kürü ile ısıtma işlemi kombine kür uygulanmıştır. Kür sonrası beton numunelerin basınç ve eğilme deneyi sonucu dayanımları bulunmuştur. Bulunan sonuçlar önceki literatür çalışmaları ile uyum içerisinde olmakla birlikte gerek kullanılan malzemeler gerekse üretim yöntemi ve karışım oranı farklı olduğundan kendi içerisinde tamamen özgün bir çalışma olmuştur [10].

Beton yol kaplama şartnamesine göre maksimum su/bağlayıcı oranı 0,45 ve minimum basınç dayanımının 28 MPa, minimum eğilme dayanımı 4,5 MPa olmalıdır [7]. Çalışmadan aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

Mermer agregalı – lifsiz betona farklı kürler uygulanması sonucunda en yüksek basınç dayanımı kombine kür sonunda 43 MPa olarak elde edilmiştir. Beton yol kaplama şartnamesine göre minimum basınç dayanımının 28 MPa olması istendiğinden lifsiz mermer agregalı beton rijit yol kaplamasında kullanılabilir. Önceki literatür çalışması ile kıyaslandığında elde edilen sonucun anlamlı bir bütünlük içinde olduğu düşünülmektedir [10].

Mermer agregalı- lifli betonun ise en yüksek basınç dayanımı ise kombine kür sonrası 58 MPa olarak bulunmuştur. Beton yol kaplama şartnamesine göre minimum basınç dayanımının 28 MPa olması istendiğinden lifli mermer agregalı beton rijit yol kaplamasında kullanılabilir. Önceki literatür çalışması ile kıyaslandığında elde edilen sonucun anlamlı bir bütünlük içinde olduğu düşünülmektedir [10].

Mermer agregalı – lifsiz betona farklı kürler uygulanması sonucunda en yüksek eğilme dayanımı kombine kür sonunda 4,5 MPa olarak elde edilmiştir. Beton yol kaplama şartnamesine göre minimum eğilme dayanımının 4,5 MPa olması istendiğinden lifsiz mermer agregalı beton rijit yol kaplamasında kullanılabilir. Önceki literatür çalışması ile

kıyaslandığında elde edilen sonucun anlamlı bir bütünlük içinde olduğu düşünülmektedir [10].

Mermer agregalı- lifli betonun ise en yüksek eğilme dayanımı ise kombine kür sonrası 5,4 MPa olarak bulunmuştur. Beton yol kaplama şartnamesine göre minimum eğilme dayanımının 4,5 MPa olması istendiğinden lifli mermer agregalı beton rijit yol kaplamasında kullanılabilir. Önceki literatür çalışması ile kıyaslandığında elde edilen sonucun anlamlı bir bütünlük içinde olduğu düşünülmektedir [10].

Ham perlit agregalı – lifsiz betona farklı kürler uygulanması sonucunda en yüksek basınç dayanımı kombine kür sonunda 54,1 MPa olarak elde edilmiştir. Beton yol kaplama şartnamesine göre minimum basınç dayanımının 28 MPa olması istendiğinden lifsiz ham perlit agregalı beton rijit yol kaplamasında basınç değerini karşılamaktadır. Ancak, ham perlit agregalı – lifsiz betona farklı kürler uygulanması sonucunda en yüksek eğilme dayanımı kombine kür sonunda 4,1 MPa olarak elde edilmiştir. Beton yol kaplama şartnamesine göre minimum eğilme dayanımının 4,5 MPa olması istendiğinden lifsiz ham perlit agregalı beton rijit yol kaplamasında kullanılamaz. Önceki literatür çalışması ile kıyaslandığında elde edilen sonucun anlamlı bir bütünlük içinde olduğu düşünülmektedir [10].

Ham perlit agregalı- lifli betonun ise en yüksek basınç dayanımı ise kombine kür sonrası 74,1 MPa olarak bulunmuştur. Beton yol kaplama şartnamesine göre minimum basınç dayanımının 28 MPa olması istendiğinden lifli ham perlit agregalı beton rijit yol kaplamasında kullanılabilir. Önceki literatür çalışması ile kıyaslandığında elde edilen sonucun anlamlı bir bütünlük içinde olduğu düşünülmektedir [10].

Ham perlit agregalı- lifli betonun ise en yüksek eğilme dayanımı ise kombine kür sonrası 8,5 MPa olarak bulunmuştur. Beton yol kaplama şartnamesine göre minimum eğilme dayanımının 4,5 MPa olması istendiğinden lifli ham perlit agregalı beton rijit yol kaplamasında kullanılabilir. Önceki literatür çalışması ile kıyaslandığında elde edilen sonucun anlamlı bir bütünlük içinde olduğu düşünülmektedir [10].

Genleştirilmiş perlit agregalı - lifsiz betona farklı kürler uygulanması sonucunda en yüksek basınç dayanımı kombine kür sonunda 22,9 MPa olarak elde edilmiştir. Beton yol kaplama şartnamesine göre minimum basınç dayanımının 28 MPa olması istendiğinden lifsiz genleştirilmiş perlit agregalı beton rijit yol kaplamasında kullanılamaz. Ayrıca, genleştirilmiş perlit agregalı - lifsiz betona farklı kürler uygulanması sonucunda en yüksek eğilme dayanımı kombine kür sonunda 1,7 MPa olarak elde edilmiştir. Beton yol kaplama şartnamesine göre minimum eğilme dayanımının 4,5 MPa olması istendiğinden lifsiz

genleştirilmiş perlit agregalı beton rijit yol kaplamasında eğilme dayanımını da sağlayamadığından kullanılamaz. Önceki literatür çalışması ile kıyaslandığında elde edilen sonucun anlamlı bir bütünlük içinde olduğu düşünölmektedir [10].

Genleştirilmiş perlit agregalı- lifli betonun ise en yüksek basınç dayanımı ise kombine kür sonrası 29,7 MPa olarak bulunmuştur. Beton yol kaplama şartnamesine göre minimum basınç dayanımının 28 MPa olması istendiğinden lifli genleştirilmiş perlit agregalı beton rijit yol kaplamasında basınç dayanım sınırını karşılamaktadır. Ancak, genleştirilmiş perlit agregalı- lifli betonun ise en yüksek eğilme dayanımı kombine kür sonrası 3,5 MPa olarak bulunmuştur. Beton yol kaplama şartnamesine göre minimum eğilme dayanımının 4,5 MPa olması istendiğinden lifli genleştirilmiş perlit agregalı beton rijit yol kaplamasında kullanılamaz. Önceki literatür çalışması ile kıyaslandığında elde edilen sonucun anlamlı bir bütünlük içinde olduğu düşünölmektedir [10].

Ekstra yapılan XRD, SEM-EDX analizleri ile yapılan deneylerin çıkan sonuçlarına göre birbirini desteklediğı gözlemlenmiştir.

5. KAYNAKLAR

- [1] Kozak M, 2010. Beton Travers Üretiminde Agrega Türü (Bazalt-Kalker) ve Çelik Lifin Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.
- [2] Şimşek O, Sancak E, Yaprak H, 2005. Beton Yollarda Alternatif Bir Malzeme: Vakumlu Beton. 4th International Advanced Technologies, 1132-1137, Konya.
- [3] Kozak M, 2011. Beton Yollar ve Beton Yol Yapımının Araştırılması. Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi, 7(1): 89-99.
- [4] Ağar E, Öztaş G, Süttaş İ, 1998. Beton Yollar. İstanbul Teknik Üniversitesi Yayınları, İstanbul.
- [5] Bakış A, Hattatoğlu F, 2016. Asfalt Yol Kaplaması ile Sanayi Atık Lifli Reaktif Pudra Beton Yol Kaplamasının Maliyet Karşılaştırması. DÜMF Mühendislik Dergisi 7 (2016): 421-432
- [6] Tunç A, 2007. Yol Malzemeleri ve Uygulamaları. 1-5, içinde: Kaplama Performansı ve Stabilitesi. Nobel Yayınları, Ankara
- [7] Ağar E, Süttaş İ, Öztaş G, 2003. Asfalt Kaplama ile Beton Yol Karşılaştırılması. THBB Hazır Beton Dergisi - Beton Yollar Özel Eki, 1996- TMH - Türkiye Mühendislik Haberleri Sayı 427 - 2003/5.
- [8] <http://www.betonyol.org.tr> (Erişim Tarihi 24.08.2019)
- [9] Richard P, Cheyrezy M, 1995. Composition of Reactive Powder Concretes. Cement and Concrete Research, 25(7): 1501-1511.
- [10] Bakış A, 2015. Rijit Yol Üstyapı İnşasında Reaktif Pudra Betonun (RPB) Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- [11] Dallaire E, Aitcin P.C, Lachemi M, 1998. High-Performance Powder. Civil Engineering, ABI/INFORM Global, 68: 48-51.
- [12] Dallaire E, Aitcin P.C, 1998. Reactive Powder Concrete in Use. ASCE Journal of Civil Engineering, 68 (1): 4-48.

- [13] Taşdemir MA, Kocatürk A.N, Haberveren S, Aslan G, 2005. Özel Prefabriğe Elemanların Ultra Yüksek Performanslı Betonlarla Üretimi. TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, 6. Ulusal Beton Kongresi-Yüksek Performanslı Betonlar, İstanbul.
- [14] Topçu İB, Karakurt C, 2005. Reaktif Pudra Betonu ve Uygulamaları. Akdeniz İnşaat Haber, 2: 32-33.
- [15] Sadrekarimi A, 2004. Development of a Light Weight Reactive Powder Concrete. Journal of Advanced Concrete Technology, 2 (3): 409-417.
- [16] Grassl P, Wong HS, 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.
- [17] Yalçınkaya Ç, Yazıcı H, 2011. Agregâ Hacminin Reaktif Pudra Betonunun Mekanik ve Büzülme Özelliklerine Etkileri. THBB Beton 2011 kongresi, İstanbul, s:150-159.
- [18] Roux N, Andrade C, Sanjuan M. A, 1996. Experimental Study of Durability of Reactive Powder Concretes. Journal of Materials in Civil Engineering, 1-6.
- [19] Chan YW, Chu SH, 2004. Effect of Silica Fume on Steel Fiber Bond Characteristics in Reactive Powder Concrete. Cement and Concrete Research, 34: 1167-1172.
- [20] Gilliland SK, 1996. Reactive Powder Concrete (RPC), A New Material For Prestressed Concrete Bridge Girders. Building an International Community of Structural Engineers Structures Congress – Proceedings, 1: 125-132.
- [21] Feylessoufi A, Crespin M, Dion P, Bergaya F, Van Damme H, 1997. Controlled Rate Thermal Treatment of Reactive Powder Concretes. Advanced Cement Based Materials, 6: 21-27, 1997.
- [22] Düzgün E, 2004. Reaktif Pudra Betonlarının Mekanik Performanslarının İncelenmesi. , Bitirme Proje Çalışması, ESOGÜ Mühendislik Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Eskişehir .
- [23] Taşdemir MA, Bayramov F, Yerlikaya M, 2005. Yeni Kuşak Süperakışkanlaştırıcıların Yüksek Performanslı Çimento Esaslı Kompozitlerdeki İşlevleri. Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyumu Bildiriler, Ankara s:201-221.

- [24] Ashish DK, 2018. Feasibility of Waste Marble Powder in Concrete as Partial Substitution of Cement and Sand Amalgam for Sustainable Growth. *Journal of Building Engineering*, 15: 236-242.
- [25] Gussoni M, 2016. Stone sector 2016—Annual report and prospects for the international stone trade: Marina di Carrara, Italy. *Internazionale Marmi e Macchine Carrara S.p.A.*, 104 p.
- [26] Ceylan H, 2000. Mermer Fabrikalarındaki Mermer Toz Atıklarının Ekonomik Olarak Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta.
- [27] Kaya G, Turan S. Yüksek Fırın Cürufunun Seramik Sektöründe Katma Değeri Yüksek Ürünlerin Eldesinde Değerlendirilmesi. *Mühendis ve Makine Dergisi- Cilt: 45 Sayı: 536*.
- [28] Ünal O, Kibici A, 2001. Türkiye III. Mermer Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Afyon.
- [29] Bakırhan M, Bozkurt N, 2019. Pomza ve Perlit Kullanılarak Üretilen Kompozit Hafif Beton Tasarım ve Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bitlis.
- [30] Polat R, Demirboğa R, 2013. Genleştirilmiş Perlit Agregası, Nano ve Mikro Boyutta CaO ve MgO ve Kilin Yüksek Mukavemetli Betonların Otojen Rötrelere Üzerindeki Etkisi. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- [31] Sancak E, 1998. Hafif Agregalı Beton Blokların Mekanik Özellikleri Üzerine Çelik Lif Kullanımının Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- [32] Ünal O, 1994. Isıl İşlem Uygulamasının Lifli Beton Özelliklerine Etkisi. Doktora Tezi İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [33] Aslan A, Aydın AC, 1999. Lifli Betonların Darbe Etkisi Altında Genel Özellikleri, Çelik Tel Donatılı Betonlar Sempozyumu, Sabancı Center.
- [34] İstanbul ACI COMMITTEE 544 1982 American Concrete Institute standardı.
- [35] Yeğınobalı A, 2003. Silis Dumanı ve Çimento İle Betonda Kullanımı, Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliğı, Ankara.

- [36] Mazloom M, Ramezianpour AA, Brooks JJ, 2004. Effect of Silica Fume on Mechanical Properties of High-Strength Concrete, Cement & Concrete Composites, 26, 347-357.
- [37] Yüzer N, 1998. Silis Dumanı Katkılı Betonarme Elemanlara Klorür Etkisinin Hızlandırılmış Korozyon Deneyi ile Araştırılması. Doktora Tezi, Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [38] Toutanji H, Bayasi Z, 1999. Effect of Curing Procedures on Properties of Silica Fume Concrete, Cement and Concrete Research, 29, 497-501.
- [39] Richard P, Cheyrezy MH, 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.
- [40] <http://www.adabağyapi.com.tr/> (Erişim Tarihi 19.09.2019)
- [41] <http://www.iksa.com.tr/> (Erişim Tarihi 19.09.2019)
- [42] <http://www.basf.com.tr/> (Erişim Tarihi 19.09.2019)
- [43] <http://www.inperperlit.com.tr/> (Erişim Tarihi 19.09.2019)
- [44] <http://www.atlas1.com.tr/> (Erişim Tarihi 19.09.2019)
- [45] İpek M, 2009. Reaktif Pudra Betonların Mekanik Davranışına Katılma Süresince Uygulanan Sıkıştırma Basıncının Etkileri. Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- [46] 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.
- [47] Dauriac C, 1997. Special Concrete May Give Steel Stiff Competition. Building with Concrete, The Seattle Daily Journal of Commerce, s:5.
- [48] <http://www.inönü.edu.tr/> (Erişim Tarihi 19.09.2019)
- [49] Erdoğan D, 2011. Sodyum-Potasyum Silikat Esaslı Cam Frit İlaveli Beton Karışımlarının Üretilmesi ve Karakterizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.

[50] Ramachandran VS, Beaudoin J.J, 2001. Handbook of Analytical Techniques in Concrete Science and Technology. Noyes Publications, Ottawa, 2001.



EK 1. RESİMLER



Şekil Ek 1.1. Kontrol Betonü Basınç Numuneleri



Şekil 1.2 Kontrol Betonü Eğilme Numuneleri



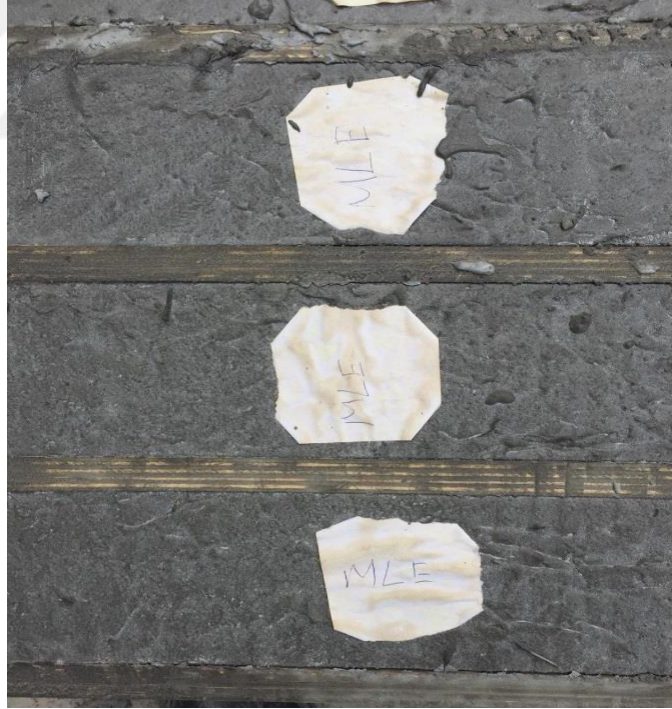
Şekil Ek 1.3. Mermer Lifli Basınç Numuneleri



Şekil Ek 1.4. Mermer Lifsiz Basınç Numuneleri



Şekil Ek 1.5. Mermer Lifsiz Eğilme Numuneleri



Şekil Ek 1.6. Mermer Lifli Eğilme Numuneleri



Şekil Ek 1.7. Ham Perlit Lifsiz Basınç Numuneleri



Şekil Ek 1.8. Ham Perlit Lifli Basınç Numuneleri



Şekil Ek 1.9. Ham Perlit Lifsiz Eğilme Numunesi



Şekil Ek 1.10. Ham Perlit Lifli Eğilme Numuneleri



Şekil Ek 1.11. Genleştirilmiş Perlit Lifsiz Basınç Numuneleri



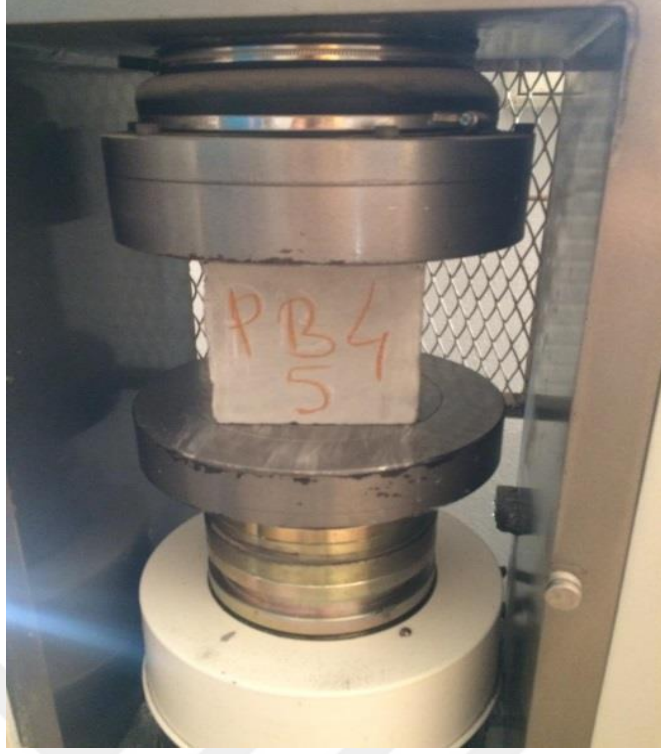
Şekil Ek 1.12. Genleştirilmiş Perlit Lifli Basınç Numuneleri



Şekil Ek 1.13. Genleştirilmiş Perlit Lifsiz Eğilme Numuneleri



Şekil Ek 1.14. Genleştirilmiş Perlit Lifli Eğilme Numuneleri



Şekil Ek 1.15. Basınç Cihazında Beton Numunesi



Şekil Ek 1.16. Etüvde Basınç ve Eğilme Numuneleri



Şekil Ek 1.17. Beton Mikseri



Şekil Ek 1.18. Malzemeler ile Dolu Mikser



Şekil Ek 1.19. Beton Kr Havuzu



Şekil Ek 1.20. Beton Karışımında Kullanılan Hassas Terazisi

ÖZGEÇMİŞ

1988 yılında Muş'ta doğdum. İlköğretimi Hürriyet İlköğretim Okulu'nda, liseyi Muş Lisesi'nde tamamladım. 2006 yılında kazandığım Çukurova Üniversitesi Tekstil Mühendisliğinden 2011 yılında mezun oldum. Daha sonra 2013 yılında Dicle Üniversitesi İnşaat Mühendisliğini kazandım ve 2015 yılında mezun oldum. 2017 yılında Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisansa başladım. Yabancı dilim İngilizcedir.

Sümevra Kaya Arman

