



**TRAVERTEN ATIKLARININ BETON AGREGASI OLARAK  
KULLANILABİLİRLİĞİ**

**UĞUR KIZILTEPE**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

T.C.  
YOZGAT BOZOK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TRAVERTEN ATIKLARININ BETON AGREGASI OLARAK  
KULLANILABİLİRLİĞİ

UĞUR KIZILTEPE

Tez Danışmanı

Dr. Öğr. Üyesi YUŞA ŞAHİN

YOZGAT 2021

Her hakkı saklıdır

## TEZ BEYANI

Tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu tezin yazılmasında bilimsel ahlak kurallarına uyulduğunu, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezin içerdiği yenilik ve sonuçların başka bir yerden alınmadığını, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, tezin herhangi bir kısmının bu üniversite veya başka bir üniversitedeki başka bir tez çalışması olarak sunulmadığını beyan eder, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

UĞUR KIZILTEPE

17/02/2021

## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

#### TRAVERTEN ATIKLARININ BETON AGREGASI OLARAK KULLANILABİLİRLİĞİ

UĞUR KIZILTEPE

YOZGAT BOZOK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

TEZ DANIŞMANI: DR. ÖĞR. ÜYESİ YUŞA ŞAHİN

İnsanlar ilk çağlardan bu zamana kadar temel ihtiyaç olarak gördükleri barınma ihtiyacını karşılamakla uğraşmışlardır. Bu uğraş günümüzde barınmaya ek olarak ulaşım, alt yapı ve benzeri alanlarda genişleyerek bir medeniyetin ihtiyaç duyduğu tüm alanlara yayılmıştır. Bugünkü devasa inşaat sektöründe en yaygın kullanılan malzeme tartışmasız betondur. Bu çalışmada, bu büyük endüstrinin en sık kullanılan malzemesi içerisinde, çevresel bir atık olan, traverten taşlarının kesilmesinden sonra kalan parçalarının agrega olarak kullanımları araştırılmıştır. Traverten atık sahalarından alınan bu parçalar taş ocağında kırılarak beton içerisinde kullanılabilir boyutlara getirilmiştir. Elde edilen traverten atığı agregaları üzerinde beton agregalarında uygulanan geleneksel deneyler yapılmıştır. Traverten, kalker ve bazalt agregaları içeren 3 farklı dayanımda betonlar üretilmiştir. Üretilen bu betonlar üzerinde, basınç dayanımı, elastisite modülü ölçümü, yarmada çekme dayanımı, aşınma dayanımı ve kılcal geçirimsizlik deneyleri yapılmıştır. Deneyler sonucunda traverten atıklarından elde edilen agregalarla sadece normal dayanımlı betonların değil aynı zamanda yüksek dayanımlı betonların da elde edilebileceği görülmüştür.

2021, 57 SAYFA

**ANAHTAR KELİMELER:** Traverten, Beton, Agrega, Atık değerlendirilmesi, Bazalt.

## **ABSTRACT**

### **MASTER OF SCIENCE THESIS**

#### **USABILITY OF TRAVERTINE WASTES AS CONCRETE AGGREGATE**

**UĞUR KIZILTEPE**

**YOZGAT BOZOK UNIVERSITY  
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES**

**DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING**

**THESIS SUPERVISOR: ASSIST. PROF. DR. YUŞA ŞAHİN**

From the early ages until this time, people have struggled to meet the need for housing as a basic need. In addition to housing, this occupation has expanded in transportation, infrastructure and similar areas and spread to all areas that a civilization needs. In today's massive construction industry, the most widely used material is concrete. In this study, the use of the remaining parts of travertine stones after cutting, which is an environmental waste, as aggregate in the most frequently used material of this large industry was investigated. These remaining parts were taken from the travertine waste areas and were crushed in the quarry and obtained to usable sizes in concrete. Conventional experiments applied on concrete aggregates were carried out on the obtained travertine waste aggregates. Compressive strength, elasticity modulus measurement, splitting tensile strength, abrasion resistance and capillary permeability tests were performed on these produced concretes. As a result of the experiments, it was observed that with the aggregates obtained from travertine wastes, not only normal strength concretes but also high strength concretes can be obtained.

2021, 57 PAGE

**KEYWORDS:** Travertine, Concrete, Aggregate, Waste recycling, Basalt

## ÖNSÖZ

Çalışmalarım süresince öncelikli olarak bilgi ve tecrübesi ile bana her konuda yardımcı olan çok değerli hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Yuşa ŞAHİN'e en içten teşekkürlerimi sunmak isterim.

Yüksek lisans eğitimim süresi boyunca bana yakın ilgi gösteren ve rahat bir ortamda çalışmalarımı sürdürmemi sağlayan, deneysel çalışmalarım sırasında yardımcı olan değerli dostum Yunus GÜNDÜZ'e, çalışmalarım sırasında bana destek olan Yapı Merkezi İnşaat YES projesi Kalite kontrol ekip arkadaşlarıma ve laboratuvar testlerinde yardımcı olan Zemar Zemin Araştırmalarına çalışanlarına teşekkür ederim.

Hayatta desteklerini benden hiç esirgemeyen sevgili babam Cengiz KIZILTEPE'ye, sevgili annem Münevver KIZILTEPE'ye ve tüm çalışma sürecim boyunca çalışmama yardımları dokunan herkese teşekkür ederim.

Bu tez çalışması;

Yozgat Bozok Üniversitesi Proje Koordinasyon Uygulama ve Araştırma Merkezi tarafından 6601a-FBE/20-398'nolu proje ile desteklenmiştir.

UĞUR KIZILTEPE

17/02/2021

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET .....	v
ABSTRACT.....	vi
ÖNSÖZ .....	vii
İÇİNDEKİLER .....	viii
TABLolar LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	xi
RESİMLER LİSTESİ .....	xii
HARİTALAR LİSTESİ .....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR .....	xiv
1.GİRİŞ .....	1
2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI.....	3
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	11
3.1 Çimento.....	11
3.2 Agrega.....	11
3.2.1 Elek Analizi Deneyi.....	13
3.2.2 Magnezyum Sülfat Deneyi .....	14
3.2.3 Tane Yoğunluğu ve Su Emme Oranı (iri ve ince agregalar için) .....	15
3.2.4 Los Angeles Aşınma Deneyi .....	15
3.2.5 İri Agregaların Yassılık indeksi.....	16
3.2.6 Şekil İndisi .....	16
3.2.7 İnce Taneler Tayini- Metilen Mavisini Deneyi .....	16
3.3 Kimyasal Katkı .....	17
4. BETON KARIŞIMLARI VE DENEYLERİ .....	18
4.1 Beton Karışımları.....	18
4.2 Deneysel Yöntemler .....	19
4.2.1 Geleneksel Beton Deneyleri .....	19
4.3 Deneysel Sonuçlar .....	19
4.3.1 Taze Beton Deney Sonuçları .....	19
4.3.2 Sertleşmiş Beton Deney Sonuçları .....	20
5. BULGULAR.....	27

5.1 Taze Beton Deney Sonuçları .....	27
5.1.1 Çökme Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi .....	27
5.1.2 Birim Ağırlık Sonuçlarının Değerlendirmesi .....	27
5.1.3 Sıcaklık Değerlerinin Kontrol Edilmesi .....	28
5.2 Sertleşmiş Beton Deneyleri .....	28
5.2.1 Basınç Dayanımı ve Elastisite Modülü.....	28
5.2.2 Yarmada çekme dayanımı .....	32
5.2.3 Aşınma (Böhme).....	35
5.2.4 Kılcallık .....	36
6. SONUÇLAR.....	37
KAYNAKLAR .....	39

## TABLULAR LİSTESİ

<b>Tablo</b>	<b><u>Sayfa</u></b>
Tablo 3.1. Çimentonun Kimyasal Bileşimi ve Fiziksel Özellikleri.....	11
Tablo 3.2. Agregaların Magnezyum Sülfat Sonuçları .....	15
Tablo 3.3. Agregaların Su Emme ve Tane Yoğunlukları .....	15
Tablo 3.4. Agregaların Los Angeles Aşınma Sonuçları .....	15
Tablo 3.5. Agregaların Yassılık Deney Sonuçları .....	16
Tablo 3.6. Agregaların Şekil İndisi Deney Sonuçları.....	16
Tablo 3.7. Agregaların Metilen Mavisini Deney Sonuçları.....	166
Tablo 4.1. Beton Karışımları ve Bileşen Miktarları (kg/m <sup>3</sup> ).....	18
Tablo 4.2. Deneyler ve Standartları .....	19
Tablo 4.3. Taze Beton Deney Sonuçları .....	19
Tablo 4.4. Basınç Dayanım Sonuçları .....	21
Tablo 4.5. Elastisite Modülü Sonuçları .....	22
Tablo 4.6. Yarmada Çekme Deney Sonuçları .....	24
Tablo 4.7. Aşınma (Böhme) Deney sonuçları .....	25
Tablo 4.8. Kılcallık Deney Sonuçları .....	26

## ŞEKİLLER LİSTESİ

<b>Şekil</b>	<b><u>Sayfa</u></b>
Şekil 3.1. Traverten agregasının elek analiz sonucu.....	13
Şekil 3.2. Kalker agregasının elek analiz sonucu .....	14
Şekil 3.3. Bazalt agregasının elek analiz sonucu .....	14
Şekil 5.1. Çökme Deney Sonuçları.....	27
Şekil 5.2. Taze Beton ve Sertleşmiş Beton Birim Ağırlıkları.....	28
Şekil 5.3. S/Ç Oranı 0,63 Olan Karışımların Beton Basınç Dayanımları.....	29
Şekil 5.4. S/Ç Oranı 0,50 Olan Karışımların Beton Basınç Dayanımları.....	29
Şekil 5.5. S/Ç Oranı 0,35 Olan Karışımların Beton Basınç Dayanımları.....	30
Şekil 5.6. Basınç Dayanım Artışları .....	31
Şekil 5.7. Elastisite Modülü Sonuçları .....	32
Şekil 5.8. Yarmada Çekme Dayanım Değerleri Grafiklerde .....	33
Şekil 5.10. Aşınma (Böhme) Deney Sonuçları.....	35
Şekil 5.11. Kılcallık Deney Sonuçları .....	36

## RESİMLER LİSTESİ

<b>Resim</b>	<b><u>Sayfa</u></b>
Resim 1.1. Traverten Parçalarının Depolandığı Alanlar .....	2
Resim 3.1. Agrega Boyut Görünümleri .....	12
Resim 4.1. Basınç Dayanımı Düzenegi .....	20
Resim 4.2. Elastisite deney düzenegi .....	22
Resim 4.3. Yarma Deney Düzenegi .....	23
Resim 4.4. Aşınma (Böhme) Deneyi .....	25

## HARİTALAR LİSTESİ

**Harita**

**Sayfa**

Harita 1.1.Türkiye “Traverten Sahaları” Dağılım Haritası..... 1



## SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

### Simgeler

**CaCO<sub>3</sub>**

**Ca<sup>+2</sup>**

**HCO<sub>3</sub>**

**MgSO<sub>4</sub>**

**NaOH**

**CaO**

**S.CaO**

**SiO<sub>2</sub>**

**Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>**

**Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>**

**SO<sub>3</sub>**

**MgO**

**Cl**

**K<sub>2</sub>O**

**Na<sub>2</sub>O**

### Açıklamalar

Kalsiyum Karbonat

Kalsiyum

Bikarbonat

Magnezyum Sülfat

Sodyum Hidroksit

Kalsiyum Oksit

Serbest Kalsiyum Oksit

Silikon Dioksit

Alüminyum Oksit

Demir Oksit

Kükürt Trioksit

Magnezyum Oksit

Klorür

Potasyum Oksit

Sodyum Oksit

### Kısaltmalar

**KŞT**

**CBR**

**BSK**

**EAF**

**AASHTO**

**PET**

**S/Ç**

**XRF**

### Açıklamalar

Karayolları Teknik Şartnamesi

Kaliforniya Taşıma Gücü

Bitümlü Sıcak Karışım

Elektirikli Ark Fırını

Amerikan Devlet Karayolu ve Ulaştırma Yetkilileri Birliği

Polietilen Tereftalat

Su / Çimento Oranı

X-Işını Floresans

## 1.GİRİŞ

Tortul bir kayaç türü olan travertenlerin esası kalsiyum karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) olup, Kalsiyum ve bikarbonatca zengin yer altı sularının genellikle bir faydan, çatlaktan ya da yarıktan yeryüzüne çıktıkları yerde fiziko kimyasal, biyokimyasal olarak bünyelerindeki  $\text{CaCO}_3$ 'ün çökmesiyle oluşmaktadır.

Ülkemiz sınırları içinde travertenler, tektonik hatların bulunduğu alanlarda yoğunlaşmaktadır. Traverten ocakları; Batı Ege, Kuzeybatı Marmara, İç Anadolu, İç Toroslar, Akdeniz, Batı Karadeniz, Doğu Karadeniz, Doğu Anadolu Bölgeleri'nde yoğunlaşmıştır. Türkiye'de yer alan traverten sahaları haritası Harita 1.1'de verilmiştir (Erkanol ve diğerleri 2012).



Harita 1.1.Türkiye “Traverten Sahaları” dağılım haritası

Ülkemiz coğrafyasına dağılmış ve böylesine büyük bir maden sahası bulunan travertenin üretimi sırasında ortaya çıkan ve kullanılıp değerlendirilmeyen parçaları oluşmaktadır. Bu parçalar optimum seviyedeki üretimlerde bile atık madde olarak kalmaktadır. Belirli bir kullanım alanı bulunmayan bu parçalar traverten ocakları etrafında toplanmakta ve depolanmaktadır (Resim 1.1).



Resim 1.1. Traverten parçalarının depolandığı alanlar

Agrega, doğal olarak elde edilen belirli bir mineral bileşimi sergileyen ve genellikle 100 mm'ye kadar çeşitli tane büyüklüklerindeki iri taneler olarak tanımlanabilmektedir (Yılmaz, 2003). Agregalar, doğadan doğrudan doğruya (akarsu yatakları, deniz kıyıları, çöl vb.) taneli olarak temin edilebildikleri gibi taşocağı işletmeciliği ile üretilen taş bloklarının kırılıp eleme işlemleri sonucunda da elde edilebilirler. Bu şekilde elde edilen taneli malzemeye “Kırmataş” ve 4 mm kare gözlü elek altında kalan daha küçük taneli malzemeye ise “kırmakum” denilmektedir (Arıoğlu, 1999).

Çalışma kapsamında, sanayide ve herhangi bir alanda doğrudan kullanımı söz konusu olmayan traverten atığı parçaların taş ocağı kırma tesislerinde işlenerek beton agregası boyutlarına getirildikten sonra farklı dayanımlarda tasarlanan betonlar içerisinde kullanılabilirliklerinin araştırılması yapılmıştır. Böylece, atık bir malzeme değerlendirilerek hem çevresel hem de ekonomik kazançlar elde edilmesi amaçlanmıştır. Deneysel bir araştırma yürütülerek, traverten atığı agregalar ile üretilen betonlar sık kullanılan kireç taşı ve bazalt agregaları ile üretilen betonlarla karşılaştırılarak traverten atıklarının agrega olarak betonlarda kullanılabilirlikleri ortaya konmuştur.

## 2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Bu bölümde travertenlerin inşaat malzemesi olarak doğrudan kullanıldıkları ve beton içerisinde kullanıldıkları çalışmaların incelenmesi sonucu elde edilen bilgiler sunulmaktadır. Ayrıca, traverten atığı gibi mermer atığı, dökümhane ve elektrik ark fırını cürufu, bor endüstri atıkları, borojips atığının, bakır endüstrisi atıklarını, cam atıklarının ve bazalt ve kalker gibi agregaları beton içerisinde de kullanıldığı çalışmalar hakkında da bilgiler verilmektedir.

Sürer ve Yakar (2020) tarafından yapılan çalışmada, Alaşehir (Manisa) bölgesi traverten atıklarının fiziksel ve mekanik özellikleri tespit edilerek, yol üstyapısında alt temel ve temel malzemesi olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Araştırma kapsamında traverten atıklarına, Karayolları Teknik Şartnamesi (KTŞ) 2013'te yer alan alt temel ve temel malzeme özelliklerine ait deneyler uygulanmıştır. Bu deneyler; elek analizi,  $MgSO_4$  ile yapılan donma çözölmeye dayanıklılık deneyi, Los Angeles aşınma deneyi, yassılık indeksi deneyi, su emme deneyi, likit limit ve plastik limit deneyi, NaOH ile yapılan organik madde deneyi, metilen mavisi deneyi, kil topağı ve dağılılabilen tane oranı deneyi, proktor ve CBR deneyleridir. Ayrıca traverten atığı malzemenin birim kilometre nakliye bedeli de hesaplanarak maliyet açısından kırma taş malzemeye göre etkin kullanılabilir mesafesi hesaplanmıştır. Sonuçta; traverten atıklarının, KTŞ 2013 standartlarını sağlayarak, alt temel ve temel malzemesi olarak kullanılabilceği görölmüştür. Ayrıca atıklar için bir bedel ödenmediği takdirde belli mesafeye kadar maliyetin etkin olduğu ve atıkların yol üstyapısında kullanılmasının taş ocaklarının çevreye vermiş olduğu zararlı etkiyi bir nebze azaltacağı ve böylelikle ülke ekonomisine ve doğal dengeye ilave bir katkı sağlayacağı kanaatine varılmıştır.

Ergezer (2018) yaptığı çalışmada, Sivas ili Sıcak Çermik Bölgesi traverten atıklarının karayollarının temel ve alt temel tabakalarında kullanılabilirliğini araştırmıştır. Traverten atığı malzemenin, Karayolları Teknik Şartnamesinde (KTŞ 2013) belirtilen şartlara uygun olup olmadığını belirleyebilmek için malzemeye elek analizi deneyi, dona dayanıklılık deneyi, Los Angeles deneyi, yassılık indeksi deneyi, su emme deneyi, likit limit ve plastik limit deneyi, organik madde tespit deneyi, metilen mavisi deneyi ve modifiye proktor deneyi uygulanmıştır. Deney sonuçlarına göre traverten atıklarının KTŞ 2013'te belirtilen sınır değerleri sağladığı görölmüştür.

Güven (2015) yaptığı yüksek lisans tez çalışmasında; Denizli'nin önemli ihracat ürünlerinden olan travertenin kesilmesinde sonra kalan atıklarının tarıma verdiği zararları en aza indirmek, atık yığınlarını azaltarak hem traverten tesislerinin atık maliyetlerini minimize etmek hem de çevresel kirliliğin ortadan kalkmasını sağlamak ve bunları yaparken de betonun mekanik özelliklerinde iyileştirme yapmayı amaçlamıştır. Çalışma sonucunda, atık traverten çamurlarının betonda kullanılabilirliği görülmüştür.

Çobanoğlu ve ark. (2013) yaptıkları çalışmada, Denizli bölgesinde yer alan traverten ocaklarında atık olarak kalan parça şeklindeki travertenlerin beton içerisinde agrega olarak kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Öncelikle elde edilen traverten agregalarının fiziko-mekanik özellikleri tespit edilmiştir. Beton tasarımları oluşturulmuş ve mevcutta bir hazır beton firması tarafından kullanılan kırma taş agregalı beton tasarımıyla karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak traverten agregalı betonların C30/37 sınıfına uygun değerleri sağladığı görülmüştür.

Özdemir ve ark. (2017) yaptıkları çalışmada, Doğu Anadolu bölgesinde bulunan bazı mermer atıklarının yol temel ve alt temel tabakalarında kullanılabilirliğini incelemişlerdir. Mermer üretim atığı olarak Malatya Bej, Adıyaman Emprador ve Erzurum Traverten numuneleri kullanmışlardır. Bu amaçla tane boyut dağılımı, su emme, özgül ağırlık, Los Angeles aşınma, proktor, donma dayanıklılık, Kaliforniya taşıma oranı (CBR), likit limit ve plastik limit deneyleri yapmışlardır. Araştırmalarının sonucunda, Karayolu Teknik Şartnamesi dikkate alınarak, Malatya Bej, Adıyaman Emprador ve Erzurum Traverten atıklarının temel ve alt temel tabakalarında kullanılabilir olduğu görülmüştür.

Yonar ve ark. (2017) yaptıkları çalışmada, Bursa bölgesinden temin edilen dökümhane cürufunun karayolu inşaatında dolgu ve granüler tabakalarda kullanım olanaklarını araştırmışlardır. Çalışma kapsamında, dökümhane cürufunun kimyasal kompozisyonu XRF (X-Işını Floresans) deneyi sonucunda belirlenmiştir. Numunelerin fiziksel değerleri, KTŞ 2013'te tanımlı deneysel yöntemlere uygun olarak araştırılmıştır. Sonuç olarak; dökümhane cürufunun, alt temel malzemesi olarak kullanımının teknik açıdan uygun olduğu belirlenmiş ve dökümhane cürufunun çevre ve insan sağlığına bir etkisi olmayacağı kanaatine varılmıştır.

Korkmaz (2017) yaptığı yüksek lisans tez çalışmasında, Kütahya-Emet-Espey bölgesindeki bor endüstri atıkları (kolemanit konsantratör atıkları ve borojips) ve Tokat- Turhal bölgesindeki

traverten tesisi atıklarının çimentoda katkı malzemesi olarak değerlendirilmesini araştırmıştır. Çalışma kapsamında, bor endüstri atıkları, traverten atığı ve perlit %5, %10, %15 ve %20 miktarlarında klinkere katılmıştır. Üretilen çimentolar üzerinde priz süresi ve hacimsel genleşme, eğilme ve basınç dayanımı özellikleri incelenmiştir. Sonuç olarak bu katkı malzemesinin maksimum %20 oranında çimentoda kullanılabilceği görülmüştür.

Yakşe (2016) yaptığı yüksek lisans tez çalışmasında, mermer atığı parçaların yol temellerinde malzeme olarak değerlendirilmesini araştırmıştır. Bilecik İlindeki mermer atıklarının, yol temel malzemesi olarak değerlendirilmesine yönelik deneyler yapmıştır. Sonuçta, Bilecik İlının üç farklı bölgesinden alınan mermer atıklarının KTŞ 2013'te belirli fiziki özellikleri temel ve alt temel malzemesi olarak sağladığı ve CBR eğrilerinin de şartnameye uygun olduğu görülmüştür.

Okubay (2016) yapmış olduğu doktora tez çalışmasında, mermer atıklarının karayolu üstyapısında bitümlü sıcak karışımlarda (BSK) atık mermerlerin kaba ve ince agrega için BSK'larda sıklıkla kullanılan kalker agrega ile birlikte kullanımının uygunluğunu araştırmıştır. Çalışma kapsamında, bitüm üzerinde standart bağlayıcı deneyleri yapmış, agregaların fiziksel özelliklerini belirlemiş, karışımların optimum bitüm içeriğini Marshall yöntemi ile belirlemiştir. Ayrıca mermer atıklarının agrega üretim maliyetlerini de tespit etmiş ve ekonomik olarak kullanılabilirliğini değerlendirmiştir. Sonuç olarak, atıl halde depolanan mermer atıklarının, gerekli şartname limit değerlerinin sağlandığı ve üretim maliyetlerinin normal yollar ile üretilen kalker agregaya göre daha ekonomik olduğu görülmüştür.

Ural ve Yakşe (2015) yaptıkları çalışmada, mermer yatakları açısında zengin Bilecik İlindeki tesislerde biriken atık mermerlerin yol temellerinde malzeme olarak değerlendirilmesini araştırmışlardır. Çalışma kapsamında; dona dayanıklılık deneyi, Los Angeles deneyi, yassılık indeksi deneyi, NaOH ile yapılan organik madde tespiti deneyi, su emme deneyi, Atterberg kıvam limitleri deneyi ve metilen mavisi deneyleri yapılmıştır. Deneysel çalışmada kullanılan atık mermerler, KTŞ 2013'te belirli temel malzemesi tane boyutlarında hazırlanıp, şartnamede belirli fiziksel özellikleri taşıyıp taşımadıkları tespit edilmiştir. Sonuç olarak, Bilecik İlının farklı bölgelerinden temin edilen atık mermerlerin KTŞ 2013'te belirli fiziki özellikleri sağlayarak alt temel/temel malzemesi olarak kullanılabilirlikleri yapılan deneysel araştırma ile ortaya konmuştur.

Seren (2015) yaptığı yüksek lisans tez çalışmasında, elektrik ark fırını (EAF) cürufunun agrega olarak esnek üst yapılarda kullanılabilirliğini incelemiştir. Çalışma kapsamında Kocaeli İlinde yer alan Çolakoğlu Metalurji A.Ş. tesislerinden temin edilen EAF cürufu kullanılmıştır. KTŞ 2013'e uygun olarak Çimento Bağlayıcı Granüler Temel tabakası için gerekli deneyler yapılmıştır. Yapay agrega olarak EAF cürufu ve doğal agreganın fiziksel özellikleri karşılaştırılmış ve deney sonuçlarına göre yol inşaatında kullanılabilecek dayanıklılık ve stabilite değerlerini sağladığı görülmüştür. Sonuç olarak, uygun tane boyut dağılımına sahip EAF cüruflarının yol inşaatlarında yapay agrega olarak kullanılabileceği görülmüştür.

Ceylan ve Mança (2013) çalışmalarında, atık mermerlerin betonda agrega olarak kullanılabilirliğini incelemiştir. Çalışma kapsamında atık mermer parçalarında elde edilen agregalar ve geleneksel beton agregaları kullanılmıştır. Agregalar üzerinde deneyler yapılmış ve atık mermer agregaları ve kırma taş agregaları ile betonlar üretilmiştir. Sonuç olarak atık mermerlerden elde edilen agregalar ile kırma taş agregaları ile elde edilen betonların yakın değerlere sahip oldukları ve betonlarda agrega olarak kullanımlarının uygun olduğu kanaatine varmışlardır.

Çoruh ve ark. (2013) yapmış oldukları çalışmada, bor cevheri olan kolemanitten borik asit üretimi esnasında ortaya çıkan borojips atığının, yol üstyapılarındaki alt temel tabakalarında bağlayıcı madde olarak kullanımını araştırmışlardır. Bandırma'da bulunan Eti Bor A.Ş.'den sağlanan borojips atığı ile Makimsan A.Ş.'den sağlanan alt temel malzemesi farklı oranlarda karıştırılarak elde edilen numuneler üzerinde serbest basınç ve CBR deneyleri yapmışlardır. %50 borojips içeren alt temel tabakası kullanılarak AASHTO esnek üstyapı tasarımı yapmışlar ve üstyapıda kullanılan toplam agrega miktarında %43, yol yapım maliyetinde ise %12 azalış sağlamışlardır. Sonuç olarak esnek üstyapılarda borojips kullanımıyla, üstyapı maliyetinin ve bor atığının sebep olduğu çevre kirliliğinin azaltılabileceği belirlenmiştir.

Akıllı (2012) yaptığı yüksek lisans tez çalışmasında, ülkemizde yaygın olarak bulunan volkanik kökenli bazalt agregasının yol üstyapı malzemesi olarak kullanılabilirliğini araştırmıştır. Isparta, Ankara-Polatlı, Gaziantep, Afyon-Emirdağ bazalt ve kalker malzemesine fiziksel özelliklerinden dayanıklılık, yassılık, sağlamlık ve aşınmaya karşı dirençleri belirlendikten sonra malzemeler üzerinde taşıma oranının belirlenmesi için CBR deneyleri yapılmıştır. Dört farklı şehirden temin edilen bazalt malzemesi ile aynı şehirlerden temin edilen kalker

malzemesine kıyaslanması açısından, donma çözülme dayanıklılığı ( $\text{NaSO}_4$ ), aşınmaya karşı dayanıklılık, yoğunluk ve su emme deneyleri, yassılık endeksi, aşınma dayanımı (Mikro-Deval), proktor, dinamik üç eksenli ve CBR deneyleri uygulanmıştır. Sonuç olarak, temin edilen bazalt ve kalker malzemesinin yol üstü yapısında kullanılabileceği görülmüştür.

Yılmaz ve ark. (2012) yaptıkları çalışmada, Göller yöresinde üç farklı ocaktan temin edilen kireçtaşı agregalarının yol inşaatı malzemesi olarak kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Agregalarda elek analizi, gevşek birim ağırlık, özgül ağırlık, su emme oranı, donma çözülme direnci, aşınma ve parçalanma direnci deneyleri yapılmıştır. Elde edilen kapalı gradasyonlu karışımlarda ise proktor ve CBR deneyleri yapılmıştır. Sonuçta, 3 farklı bölgeden temin edilen agregaların yol inşaatında temel ve alt temel malzemesi olarak kullanımları bakımından standartlarda belirtilen fiziki ve mekanik özellikleri sağladığı görülmüştür.

Erdal ve ark. (2011) Ahlat taşının (ignimbrit) ocaklarda istenilen boyutlar için kesilmesi esnasında oluşan atıkların betonda kullanılabilirliklerini incelemişlerdir. Çalışma kapsamında, elde edilen taş unu çimento yerine %0, 5, 10, 15, 20 ve 25 oranlarında ikame edilerek, beton harçlar üretilmiştir. Andezit ve kalker esaslı taş unları kullanılarak ta çimento ile aynı oranlarda bu unların ikame edildiği harçlar üretilmiştir. Karşılaştırmanın da yapıldığı çalışma sonucunda bu unların çimento ile %5 oranında yer değiştirdiği harçların, herhangi bir taş ununun kullanılmadığı harçlarla yakın basınç ve eğilme dayanımına sahip oldukları belirlenmiş ve dolayısıyla çimentodan tasarruf sağlanabileceği sonucuna varılmıştır.

Akçaözöğlü (2010) çalışmasında, Polietilen Tereftalat (PET) şişe kırığı atıklarının hafif harçlarda agrega olarak kullanılabilirliğini araştırmıştır. PET şişe kırığı atıklarıyla uçucu kül ve yüksek fırın cürufu gibi endüstriyel atıkların hafif beton üretiminde kullanılmasının; doğal kaynakların kullanımının azaltılması, atık yok edilmesiyle çevre kirliliğinin azaltılması ve enerji tasarrufu açılarından büyük faydalar sağlayacağı sonuçları elde edilmiştir.

Filiz ve ark. (2010) çalışmalarında, çimento içerisine farklı hacimsel oranlarda mermer tozu eklenmesiyle üretilen parke taşlarını araştırmışlardır. Çalışma sonucunda mermer tozunun kullanıldığı karışımların, mermer tozunun kullanılmadığı karışımlara kıyasla daha düşük su emme değerlerine sahip oldukları, dolayısıyla daha düşük geçirimsizlik özelliklerine sahip oldukları görülmüştür.

Yılmaz ve Süttaş (2008) yapmış oldukları çalışmada, Antalya ETİ Ferrokrom İşletmesi'nde yan ürün olarak ortaya çıkan ve atık durumdaki EAF cüruflarının yol üstü yapısı temel tabakasında, doğal agregalar yerine kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Çalışma kapsamında temel tabakasını temsilen hazırlanan bağlayıcı içermeyen granüler karışımlar üzerinde proctor ve CBR deneyleri, bağlayıcı içeren karışımlar üzerinde ise serbest basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır. Sonuç olarak EAF cüruflarının fiziksel ve mekanik özellikler açısından yol üstü yapısının granüle tabakasında, doğal agregaya alternatif olarak kullanılabilmesi, çimento gibi bir bağlayıcı ile stabilize edilen cüruf karışımlarının yüksek trafik hacmine sahip karayolları için iyi bir stabilizasyon temel alternatifi oluşturabileceği belirlenmiştir.

Köken ve ark. (2008) yaptıkları çalışmada, atık betonlardan elde edilen geri dönüştürülmüş agregaların tekrar betonlarda agrega olarak kullanılması durumunda hemen hemen bütün özelliklerin olumsuz etkilendiğini belirlemişlerdir.

Yıldız (2008) yaptığı doktora tez çalışmasında, mermer parçası atıkları ve tozlarının yol inşaatlarında kullanılabilirliğini araştırmıştır. Çalışma kapsamında, mermer parçası atıkları yol temel tabakasında, toz atıklar ise toprak ile karıştırılarak stabilizasyon için değerlendirilmiştir. Deney çalışmalarda elek analizi, yoğunluk, Atterberg limiti, proktor, permeabilite, Kaliforniya taşıma oranı, kohezyon, içsel sürtünme ve dinamik üç eksenli basınç deneyleri uygulanmıştır. Ayrıca, mermer üretim aşamasında toz atıkların içine karışabilecek kirleticiler için çevresel ve ekolojik açılarından risk analizi için liç (sızma) deneyi uygulanmıştır. Deney sonuçlarına göre toz atıkların zemin stabilizasyonunu artırdığı ve ince taneli atıkların iyi performans sergilediği görülmüştür. Homojen tane dağılımı gösteren atıklar genelde dayanımı arttırmıştır. Çevresel risk açısından genel olarak toz atık toprak karışımlarının sınırları aşmadığı, hatta bazı kirleticileri bünyesinde tutarak bırakmadığı ve yer altı suları için kirletici etki göstermediği belirlenmiştir. Parça atıklar için elde edilen analiz sonuçlarında, temel tabakası için yollar fenni şartnamesinde belirtilen şartların sağlandığı, ancak traverten gibi yumuşak yapıya sahip parça atıkların don etkisi göstermeyen sıcak bölgelerde kullanılmasının daha uygun olacağı belirtilmiştir.

Binici ve ark. (2008) çalışmalarında, mermer ve granit atığı agregaları ve geri dönüşüm agregalarının betonun özelliklerine etkilerini araştırmışlardır. Çalışma sonucunda, kireç taşı gibi sık kullanılan agregalar ile yakın özelliklere sahip olduğu görülmüştür.

Şimşek ve ark. (2006) çalışmalarında, harçlarda puzolanik katkı maddesi olarak tuğla unu kullanımını araştırmışlardır. Çimento ile tuğla unu ağırlıkça %0, %10, %20 ve % 30'u oranlarında yer değiştirilerek numuneler üretilmiştir. Standart boyutlarda (40 x 40 x 160 mm) harç numuneler hazırlanmış ve 7., 28., 90. ve 180. günlerde mekanik özellik deneyleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre; tuğla unu katkısının karışım suyu gereksinimini, priz başlama ve bitiş sürelerini artırdığı belirlenmiştir. Tuğla ununun kullanılmadığı kontrol karışımına kıyasla en yüksek eğilme ve basınç dayanımı değerleri %10 tuğla unu içeren karışımlarda gözlenmiştir.

Akbulut ve Gürer (2006) tarafından yapılan çalışmada Afyon-İscehisar bölgesinde yer alan bir mermer ocağı atıklarından agregalar elde edilmiş ayrıca karşılaştırma amacıyla şehiriçi asfalt karışımlarında kullanılan bir agregada temin edilmiştir. Agregalar üzerinde standart agregada deneyleri, Marshall stabilite-akma ve dolaylı çekme deneyleri yapılmıştır. Deney sonuçlarına göre mermer atıklarında elde edilen agregaların mekanik değerlerinin asfalt karışımındaki stabilite ve akma değerlerini sağladığı ve bu malzemelerin orta ve düşük trafik hacimli asfalt kaplamaların binder tabakalarında agregada olarak değerlendirilebileceği belirlenmiştir.

Yazıcıoğlu ve Demirel (2006) çalışmalarında; Elazığ bölgesinden elde edilen pomzanın çok ince öğütülüp, ağırlıkça %5, %10, %15 ve %20 oranlarında çimento yerine ikame edilmesiyle çeşitli numuneler hazırlanmıştır. Pomza ikamesiyle özellikle erken yaşlarda görülen dayanım azalması silis dumanı kullanımıyla engellenip ortadan kaldırılmıştır.

Gürer (2005) yaptığı çalışmada, Afyon ve çevresinde bulunan mermer ocağı atık parçalarının, orta trafik hacimli asfalt kaplamaların binder tabakasında agregada olarak değerlendirilip değerlendirilmeyeceğini, mevcutta kullanımı olan malzemeler ile karşılaştırarak araştırmıştır. Çalışma kapsamında, mermer ocaklarından atık olarak depolanan malzemelerden agregada üretilerek asfalt kaplamalardaki binder tabakasında kullanılabilirliğini araştırmıştır. Mermer ocaklarında bulunan ocak atığı agregalara, minerolojik ve petrografik incelemeler, agregada ve sıcak karışım deneyleri uygulanmış ve deney sonuçları halihazırda kullanılan üstyapı agregalarıyla kıyaslanmıştır. Sonuç olarak, mermer ocaklarındaki atıkparçalardan elde edilen agregaların hafif ve orta hacimli asfalt kaplamaların binder tabakalarında kullanılabileceği görülmüştür.

Mesci ve ark. (2007) çalışmalarında, birinci aşama olarak çimentoya %2,5, %5, %7,5, %10, %12,5 ve %15 oranlarında flotasyon atıkları ilave ederek çimentonun basınç dayanımındaki değişimleri incelenmişlerdir. İkinci aşamada ise, karışımların üretilmesinde kullanılan ve deneylerde bulunan değerlerin, Türk Standartları ve kontrol karışımı değerleri ile karşılaştırılması yapılmıştır. Sonuç olarak bakır endüstrisi flotasyon atıklarının çimento üretiminde katkı maddesi olarak kullanılabilmesi görülmüştür.

Kavas ve Kibici (2001) yaptıkları çalışmada, Afyon bölgesinden temin edilen mermer atıkları ile Portland kompoze çimentosu üretimine yönelik katkı maddesi elde edilmesini araştırmışlardır. Çalışmada, işletmelerin atık stoklarından alınan örneklere ilk olarak karakterizasyon deneyleri uygulanmıştır. Sonuçların değerlendirilmesiyle atık maddelerin çimento üretiminde kullanılmasının içerik yönünden uygunluğu görülmüştür. Sonrasında, Portland kompoze çimentosu klinkerine %3, %6 ve %9 gibi belirli oranlarda mermer atıkları katılarak mermer atığı katkılı çimento üretilmiş ve bu çimentoya standart deneyler yapılarak elde edilen çimentonun uygunluğu araştırılmıştır. Deney sonuçlarına göre, mermer atıklarından elde edilen malzemenin çimento üretim aşamasında katkı maddesi olarak kullanılabilmesi bununla birlikte sınır değerlere dikkat edilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1 Çimento

Çalışma kapsamında CEM I 42,5 R tipi çimento kullanılmıştır. Çimentoya ait fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikler Tablo 3.1’de verilmektedir.

Tablo 3.1. Çimentonun kimyasal bileşimi ve fiziksel özellikleri

Kimyasal Bileşim	%	Fiziksel Özellikler	%	Mekanik özellikler	MPa
CaO	62,3	45 $\mu$ altı (%)	7,1	2 Günlük	30,4
S. CaO	1,36	Özgül ağırlık (g/cm <sup>3</sup> )	3,09	7 Günlük	43,1
SiO <sub>2</sub>	18,4	Özgül yüzey Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	3530	28 Günlük	52,2
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,2	Priz başı, dakika	166		
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,4	Priz sonu, dakika	231		
SO <sub>3</sub>	2,67				
MgO	2,4				
Cl	00,12				
K <sub>2</sub> O	1,1				
Na <sub>2</sub> O	0,27				
Çözünmeyen kalıntı	0,84				
Kızdırma kaybı	3,69				

#### 3.2 Agregta

Çalışma kapsamında, traverten atıklarından elde edilen agregaların performanslarını karşılaştırmalı olarak değerlendirmek amacıyla, hazır beton üretiminde sık kullanılan kalker agregası ve bazalt agregası da deneysel araştırmada kullanılmıştır. Kalker agregası yine İç Anadolu bölgesinde bulunan bir kırma taş tesisinden elde edilmiştir. Bazalt agregası da İç Anadolu Bölgesinde bulunan bir kırma taş ocağından alınmıştır. İç Anadolu bölgesinde bulunan bir traverten ocağından alınan atık traverten taşları öncelikle kırma taş tesisine taşınmıştır. Kırma taş tesisinde betonda kullanılan agregta boyutları için uygun olan 0-5, 5-12, 12-25 boyutlarında kırılmış ve beton karışımında kullanılacak boyutlara getirilmiştir.

Resim 3.1’de uygun boyutlara getirilen agregalar gösterilmiştir.



Resim 3.1. Agregalar boyut görünümü

Bazalt taş ocağından alınan bazalt agregaları ve kalker taş ocağından alınan kalker agregaları hazır olarak kırılmış halde temin edilmiştir. Bazalt ve kalker agregaları Yozgat İli sınırları içerisinde yer alan tesislerden elde edilmiştir.

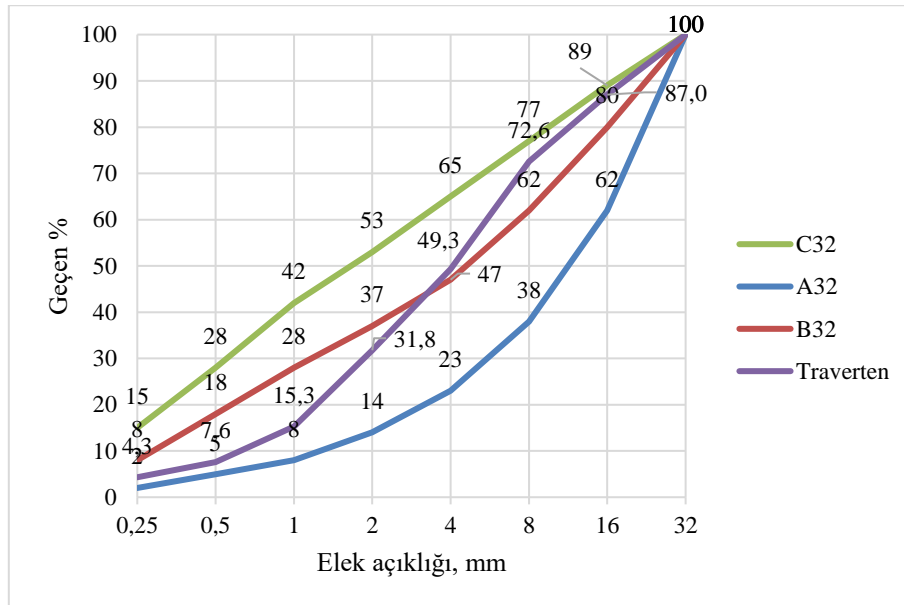
Tüm agregalar, betonda kullanılabilirliklerinin uygunluğu için uygun standartlara göre deneylere tabi tutulmuştur. Bu deneyler aşağıda sıralanmıştır;

1. Tane büyüklüğü dağılımı (elek analizi) (TS EN 933-1:2012)
2. Magnezyum sülfat deneyi (TS EN 1367-2:2010)
3. Tane yoğunluğu ve su emme oranı (iri ve ince agregalar için) (TS EN 1097-6:2013)
4. İri agregaların parçalanmaya karşı direnci Los Angeles (TS EN 1097-2:2010)
5. İri agregaların yassılık indeksi (TS EN 933-3 :2012)
6. Şekil İndisi (TS EN 933-4:2009)
7. Su muhtevası (TS EN 1097-5:2009)
8. İnce taneler tayini- Metilen mavisi deneyi (TS EN 933-9+A1:2013)

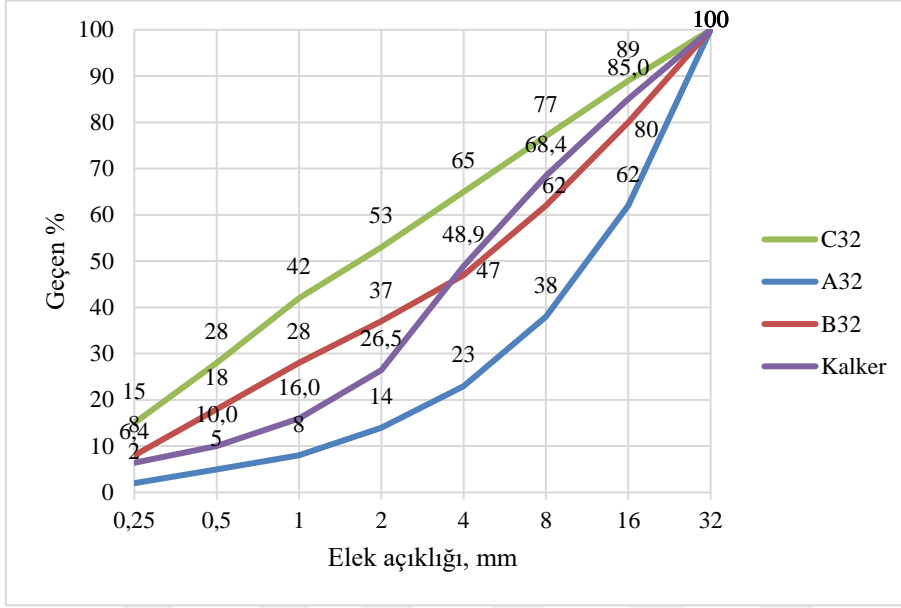
### 3.2.1 Elek Analizi Deneyi

Elek analizi deneyi agregaların betonda uygun miktarlarda kullanımlarını belirlemek için yapılmaktadır. Traverten, kalker ve bazalt agregaları için elek analizi deney sonuçları sırasıyla, Şekil 3.1, Şekil 3.2 ve Şekil 3.3'te verilmiştir.

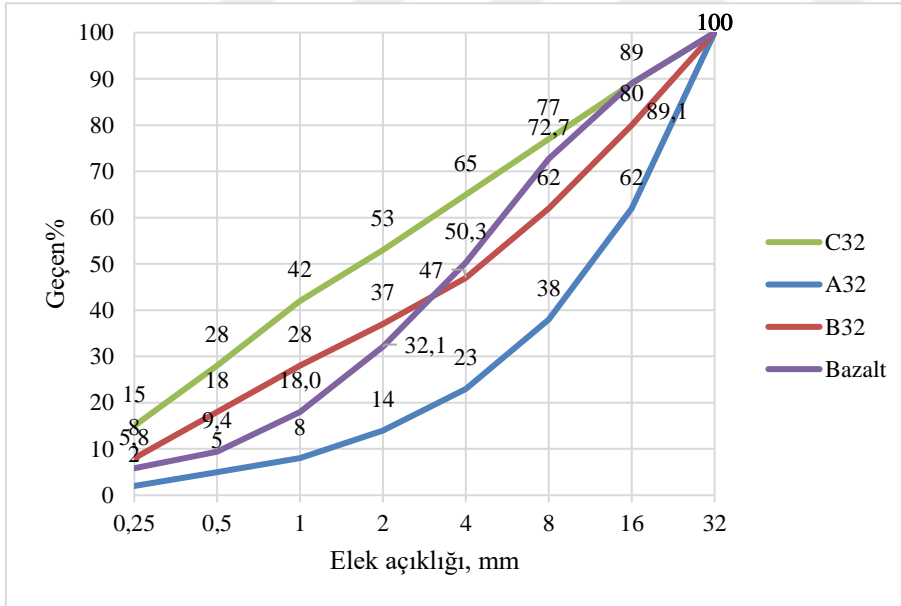
Deneyde TS EN 933-1 standardı esas alınmıştır.



Şekil 3.1. Traverten agregasının elek analiz sonucu



Şekil 3.2. Kalker agregasının elek analiz sonucu



Şekil 3.3. Bazalt agregasının elek analiz sonucu

### 3.2.2 Magnezyum Sülfat Deneyi

Deneyde, boyutları 10-14 mm olan agregaların magnezyum sülfat çözeltisine daldırılması ve takiben kurutulmasıyla periyodik işleme maruz bırakılarak donma/çözülme etkisine karşı direncinin bulunması amaçlanmaktadır. Deneyde TS EN 1367-2 standardı esas alınmıştır.

Yapılan magnezyum sülfat deney sonuçları Tablo 3.2’de verilmiştir.

Tablo 3.2. Agregaların magnezyum sülfat sonuçları

Traverten Agregası	Kalker Agregası	Bazalt Agregası
%15,93	%0,98	%4,61

### 3.2.3 Tane Yoğunluğu ve Su Emme Oranı (iri ve ince agregalar için)

Bu deney 0,063-4mm piknometre yöntemi ve 4-31,5mm tel sepet yöntemi ile agregaların tane yoğunluğu ve su emme miktarını hesaplamayı amaçlamıştır. Bu deneylerde hazırlanan numuneler TS EN 1097-6 standardı esas alınmıştır. Yapılan tane yoğunluğu ve su emme deney sonuçları Tablo 3.3’te verilmiştir.

Tablo 3.3. Agregaların su emme ve tane yoğunlukları

Fiziksel özellik	Traverten agregası			Kalker agregası			Bazalt agregası		
	(0-5)	(5-12)	(12-25)	(0-5)	(5-12)	(12-25)	(0-5)	(5-12)	(12-25)
Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	2,49	2,58	2,60	2,62	2,70	2,73	2,4	2,68	2,69
Su emme (%)	2,87	2,2	1,7	2,46	0,4	0,2	4,06	1,8	1,5

### 3.2.4 Los Angeles Aşınma Deneyi

Deney, iri agregaların parçalanma direncinin tayini için yapılmaktadır. Deneyde TS EN 1097-2 standardı esas alınmıştır. Yapılan Los Angeles deney sonuçlarına ait değerler Tablo 3.4’te verilmiştir.

Tablo 3.4. Agregaların los angeles aşınma sonuçları

Traverten Agregası	Kalker Agregası	Bazalt Agregası
40,82	25,43	15,81

### 3.2.5 İri Agregaların Yassılık İndeksi

Deneyde kullanılan agregaların yassılık indeksi hesaplanmıştır. Deneyde TS EN 933-3 standardı esas alınmıştır. Yapılan iri agregaların yassılık deney sonuçları Tablo 3.5'te verilmiştir.

Tablo 3.5. Agregaların yassılık deney sonuçları

Traverten Agregası	Kalker Agregası	Bazalt Agregası
10	11	24

### 3.2.6 Şekil İndisi

Deneyde kullanılan agregaların şekil indisi hesaplanmıştır. Deneyde TS EN 933-4 standardı esas alınmıştır. Yapılan şekil indisi deney sonuçları Tablo 3.6'da verilmiştir.

Tablo 3.6. Agregaların şekil indisi deney sonuçları

Traverten Agregası	Kalker Agregası	Bazalt Agregası
0	0	0

### 3.2.7 İnce Taneler Tayini- Metilen Mavisi Deneyi

Deney, ince agreganın (0-2 mm) içerisindeki kil ve silt gibi zararlı malzemelerin miktarını belirlemek için yapılan deneydir. Deneyde TS EN 933-9 standardı esas alınmıştır. Yapılan metilen mavisi deney sonuçları Tablo 3.7'de verilmiştir.

Tablo 3.7. Agregaların metilen mavisi deney sonuçları

Traverten Agregası	Kalker Agregası	Bazalt Agregası
2,75	0,75	5,75

### **3.3 Kimyasal Katkı**

Bu çalışmada polikarboksilik eter esaslı yüksek oranda su azaltıcı/yeni nesil süper akışkanlaştırıcı beton katkısı (CHRYSO®Optima 280) kullanılmıştır.



#### 4. BETON KARIŞIMLARI VE DENEYLERİ

Agrega türünün beton özelliklerine etkileri bir deneysel çalışma ile araştırılmıştır. Deneysel çalışma kapsamında 3 farklı agrega türüne, 3 farklı basınç dayanımına sahip beton karışımları tasarlanmıştır. Betonların taze halde beton kıvamı üzerine etkileri çökme deneyi ile incelenmiştir. Ayrıca taze beton karışımları üzerinde birim ağırlık ölçümleri de yapılarak agrega türünün beton birim hacim ağırlığı üzerine etkisi belirlenmiştir. Sertleşmiş beton numuneleri üzerinde ise basınç dayanımı, elastisite modülü ölçümü, yarmada çekme dayanımı, aşınma (Böhme) ve kılcal geçirimsizlik deneyleri yapılmıştır.

##### 4.1 Beton Karışımları

Beton karışımları Tablo 4.1’de verilmiştir. Karışımların kodlanmasında agrega türü; traverten (T), kalker (K), ve bazalt (B) ve karışımlara ait S/Ç oranları (0,35-0,50-0,63) kullanılmıştır. Örneğin 35K kodlaması 0,35 su/çimento oranına sahip kalker agrega türü olan beton üretimi.

Tablo 4.1. Beton karışımları ve bileşen miktarları (kg/m<sup>3</sup>)

Su/ç	Çimento	Su	Kırma kum	Kırma taş 1	Kırma taş 2	Süper A.
63 B	325	205	810	489	418	0
63 K	325	205	885	492	424	0
63 T	325	205	841	470	404	0
50 B	350	175	831	501	429	7,7
50 K	350	175	915	509	439	1,6
50 T	350	175	867	485	417	3,9
35 B	400	140	846	510	436	17,2
35 K	400	140	938	522	449	5,5
35 T	400	140	889	497	427	7,8

## 4.2 Deneysel Yöntemler

### 4.2.1 Geleneksel Beton Deneyleri

Bu çalışma kapsamında yapılan deneyler ve standartları Tablo 4.2’de verilmiştir.

Tablo 4.2. Deneyler ve standartları

Deney Adı	Standart
Çökme	TS EN 12350-2
Birim Ağırlık (Taze beton)	TS EN 12350-6
Birim Ağırlık (Sertleşmiş beton)	TS EN 12390-7
Basınç Dayanımı	TS EN 12390-3
Yarmada Çekme Dayanımı	TS EN 12390-6
Elastisite Modülü	TS EN 12350-13
Böhme	TS EN 1338
Kılcallık	ASTM C 1585

## 4.3 Deneysel Sonuçlar

### 4.3.1 Taze Beton Deney Sonuçları

Üretilen betonlara ait taze beton deney sonuçları Tablo 4.3’te verilmiştir.

Tablo 4.3. Taze beton deney sonuçları

Karışım İsimlendirmesi	Çökme, (cm)	Birim ağırlık, taze beton (kg/m <sup>3</sup> )	Birim ağırlık, sertleşmiş beton (kg/m <sup>3</sup> )	Ortam Sıc. (°C)	Beton Sıc. (°C)
63T	19	2314	2324	17,0	18,3
50T	16	2348	2345	17,4	18,0
35T	20	2405	2405	17,6	19,2
63K	20	2334	2338	17,0	17,0
50K	17	2381	2398	17,4	18,1
35K	18	2480	2475	17,7	19,2
63B	11	2350	2356	17,0	17,7
50B	14	2395	2411	17,4	19,1
35B	13	2489	2490	17,4	17,6

## 4.3.2 Sertleşmiş Beton Deney Sonuçları

### 4.3.2.1 Basınç Dayanım Sonuçları

Basınç dayanımı deneyleri TS EN 12390-3 standardına uygun olarak 15 cm çapında 30 cm yüksekliğinde standart silindir numuneler, 10 cm çapında 20 cm yüksekliğinde küçük silindir numuneler ve 15x15cm küp numuneleri kullanılmıştır. 300 ton kapasiteli preste 13,5 kN/s yükleme hızı uygulanarak yapılmıştır. Basınç dayanım sonuçları 6 adet numunenin ortalaması olarak verilmiştir. Basınç dayanımı deneyi öncesi silindir numunelere çimento harcı ile başlık yapılmıştır. Basınç dayanımı için başlık hazırlama işlemi ve deney düzeneği Resim 4.1’de gösterilmiştir. Basınç dayanımı deney sonuçları ise Tablo 4.4’te verilmiştir.



Resim 4.1. Basınç dayanımı düzeneği

Tablo 4.4. Basınç dayanım sonuçları

Karışım İsimlendirmesi	B. Silindir (MPa)	K. Silindir (MPa)	Küp (MPa)
63T	32,10	33,35	33,80
50T	40,98	40,50	43,34
35T	60,66	59,60	63,00
63K	28,40	30,50	31,63
50K	39,70	40,35	45,13
35K	62,32	61,05	64,17
63B	34,60	35,95	36,04
50B	52,80	50,15	56,78
35B	78,30	76,90	81,70

#### 4.3.2.2 Elastisite Modülü Sonuçları

Elastisite modülü deneyi ise 15 cm çapında 30 cm yüksekliğinde silindir numuneler üzerinde, 2 kN/s yükleme hızında, numunelerin basınç dayanımlarının %30 kadar yüklenmesiyle yapılmıştır ve gerilme-şekil değiştirme eğrisinin (%5-%35 aralığındaki) eğimi olarak hesaplanmıştır. Elastisite modülü deney sonuçları Tablo 4.5'te gösterilmiştir. Elastisite modülü değerleri 3 adet numunenin ortalamasıdır. Deneyi öncesi silindir numunelere çimento harcı ile başlık hazırlanmıştır. Elastisite modülü ölçümlerine ait deney düzeneği Resim 4.2'te gösterilmiştir.



Resim 4.2. Elastisite deney düzeneği

Tablo 4.5. Elastisite modülü sonuçları

Karışım İsimlendirmesi	Elastisite Modülü (GPa)
63T	25,076
50T	26,090
35T	35,770
63K	24,262
50K	27,464
35K	37,286
63B	24,717
50B	30,062
35B	39,954

#### 4.3.2.3 Yarmada Çekme Deney Sonuçları

Yarmada çekme dayanımı deneyleri TS EN 12390-6 standardına uygun olarak 15 cm çapında 30 cm yüksekliğinde standart silindir numunelerin 6 cm yüksekliğinde dilimlere kesilmesiyle elde edilen numuneler ve 10 cm çapında 20 cm yüksekliğinde standart silindir numunelerin 5 cm yüksekliğinde dilimlere kesilmesiyle, 300 ton kapasiteli preste 0,05 MPa/s yükleme hızı uygulanarak yapılmıştır. Yarmada çekme deney sonuçları Tablo 4.6’da gösterilmiştir. Yarmada çekme dayanımı sonuçları 4 adet büyük silindir numune ve 4 adet küçük silindir numunelerinin ortalamasıdır. Deney düzeneği Resim 4.3’te gösterilmiştir.



Resim 4.3. Yarma deney düzeneği

Tablo 4.6. Yarmada çekme deney sonuçları

Karışım İsimlendirmesi	B. Silindir (MPa)	K. Silindir (MPa)
63T	3,08	2,39
50T	3,54	3,42
35T	5,36	4,34
63K	2,87	2,52
50K	3,30	3,60
35K	5,11	4,63
63B	3,44	2,94
50B	4,88	4,16
35B	6,85	5,30

#### 4.3.2.4 Aşınma (Böhme) deney sonuçları

Deneyler 30 devir/dk.  $\pm$  1 devir/dk hızında dönebilen yatay olarak yerleştirilmiş 750 mm çapında döner bir disk üzerinde yapılmıştır. Numunelere döner disk üzerinde belirli bir kuvvet uygulayan donanım yüzey aşındırıcı amacıyla kullanılmaktadır. Bu disk, her 22 devirde cihazı otomatik olarak durduracak tertibata ve devir sayısını gösteren bir numaratöre sahiptir. Sürtünme ile aşınma kaybı deneyleri TS 2824'e uygun olarak kenar uzunlukları 71 mm  $\pm$  1,5 mm olan küp biçiminde deney numuneler üzerinde yapılmıştır. Bu numunelerin yüzeye temas eden ve ona karşı gelen diğer yüzleri paralel ve düz olmalıdır. Deneylerde 20 gr  $\pm$  0,5 gr zımpara tozu (korundum) sürtünme şeridi üzerine serpilir ve çelik manivela aracılığı ile 294  $\pm$  3 N ile yüklenir. 22 devir sonunda otomatik olarak duran disk üzerinden zımpara tozu ve numune atıkları temizlenir. Yeniden 20 gr  $\pm$  0,5 gr zımpara tozu sürtünme şeridi üzerine serpilir ve numune düşey eksen etrafında 90° çevrilir. Her numune için 22 devirden meydana gelen deney, numuneye 16 defa uygulanır. Resim 4.4'te deney düzeneği gösterilmiştir. Deney numunesi iyice temizlendikten sonra numune boyutları 0.01 mm hassasiyetle olan kumpas ile ölçülür ve numune hassas terazide tartılır. Deney sonuçları Tablo 4.7'de verilmiştir.



Resim 4.4. Aşınma (böhme) deneyi

Tablo 4.7. Aşınma (böhme) deney sonuçları

Karışım İsimlendirmesi	Böhme değeri (cm <sup>3</sup> /50cm <sup>2</sup> )
63T	1,046
50T	0,829
35T	0,541
63K	0,790
50K	0,759
35K	0,587
63B	0,561
50B	0,482
35B	0,251

#### 4.3.2.5 Kılcallık deney sonuçları

Kılcallık deneyi 10 cm çapında 20 cm yüksekliğinde standart silindir numunelerin 5 cm yüksekliğinde dilimlenmesiyle, 3 gün etüvde bekletilerek kuru bir numune elde edilir. Bu elde edilen kurunu numune daha sonra 5 cm'lik dilimin alt tabanı suya batırılarak yan ve üst yüzeylerden su emmesi engellenmek suretiyle bir kap içerisine yerleştirilir. Belirli zamanlar içinde numunenin ne kadar su emdiğini ölçülerek yapılan bir deneydir. Kılcallık deney sonuçları Tablo 4.8'de gösterilmiştir. Kılcallık deney sonuçları 3 adet 10 cm çapında 5 cm yüksekliğinde numunelerin ortalamasıdır.

Tablo 4.8. Kılcallık deney sonuçları

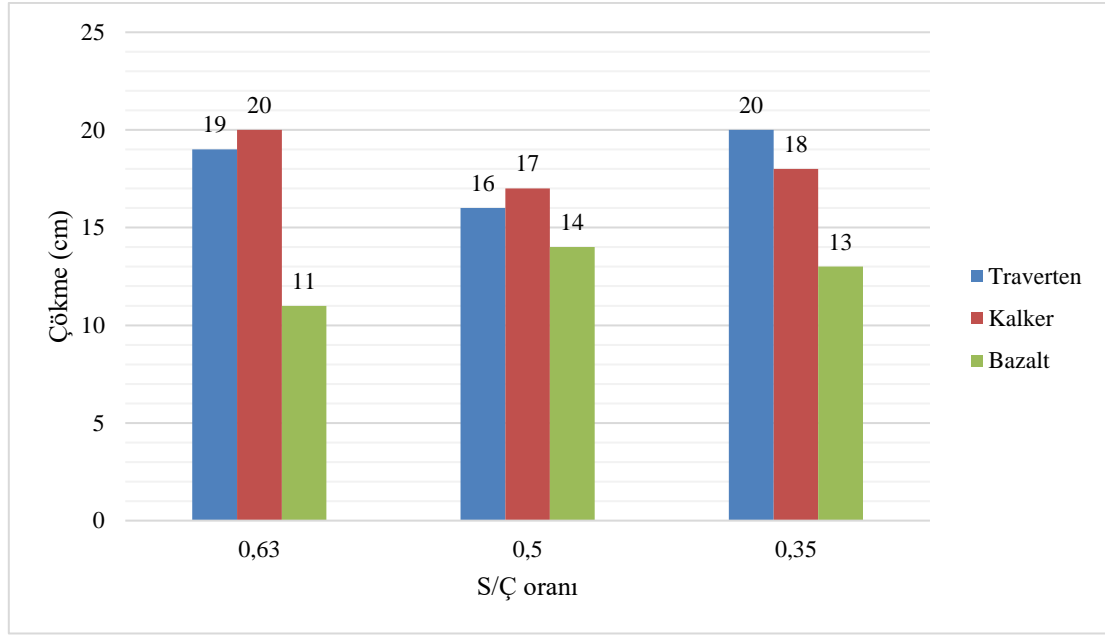
Karışım İsimlendirmesi	Kılcal geçirimsizlik katsayısı ( $\times 10^{-6}$ mm/san <sup>1/2</sup> )
63T	4,3
50T	2,0
35T	0,9
63K	3,3
50K	2,0
35K	0,9
63B	3,0
50B	2,0
35B	1,0

## 5. BULGULAR

### 5.1 Taze Beton Deney Sonuçları

#### 5.1.1 Çökme Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Çökme deney sonuçları ait grafikler Şekil 5.1’de verilmiştir.

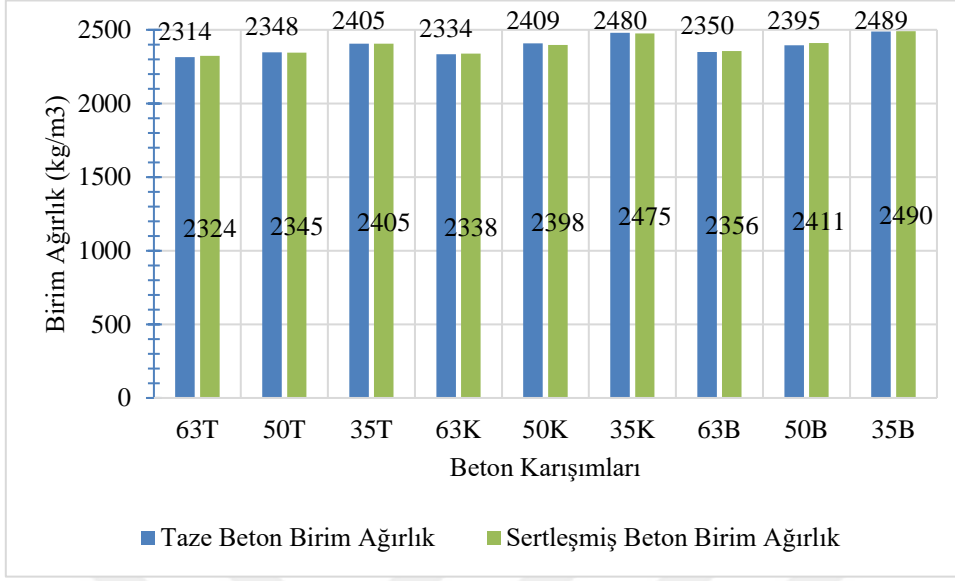


Şekil 5.1. Çökme deney sonuçları

Kalker esaslı agregalar kullanılan betonlardaki çökme değeri ile traverten esaslı agregalar kullanılan betonların çökme değerleri S4 (12-21cm) kıvam sınıfında belirlenmiştir. Bu çalışmada elde edilen veriler doğrultusunda kalker ve traverten beton karışımları S/Ç oranı değişse bile karışım çökme değerlerinin yaklaşık aynı değerler olduğu saptanmıştır. Bazalt esaslı agregalar içeren betonlardaki çökme değerlerinin S3 (10-15 cm) kıvam sınıfında olduğu belirlenmiştir. Karışımlardaki S/Ç oranları değişse bile beton karışımlarındaki çökme değerleri süperakışkanlaştırıcı katkı kullanılmasıyla dolaylı olarak sabit kalmıştır.

#### 5.1.2 Birim Ağırlık Sonuçlarının Değerlendirmesi

Birim ağırlık değerleri taze beton ve sertleşmiş birim ağırlık değerleri olarak Şekil 5.2’de verilmiştir.



Şekil 5.2. Taze beton ve sertleşmiş beton birim ağırlıkları

Sertleşmiş birim ağırlık ile taze betondaki birim ağırlık değerleri tüm agrega tipleri ve S/Ç oranlarında yakın değerler olarak elde edilmiştir. Kalker ve bazalt agrega içerikli beton karışımlarında birim ağırlık değerleri yaklaşık aynı olmuştur. Traverten esaslı agregalarda ise, birim ağırlık diğer agregalara kıyasla daha düşük elde edilmiştir. Bu sonucun agrega özgül ağırlıklarının farklı olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

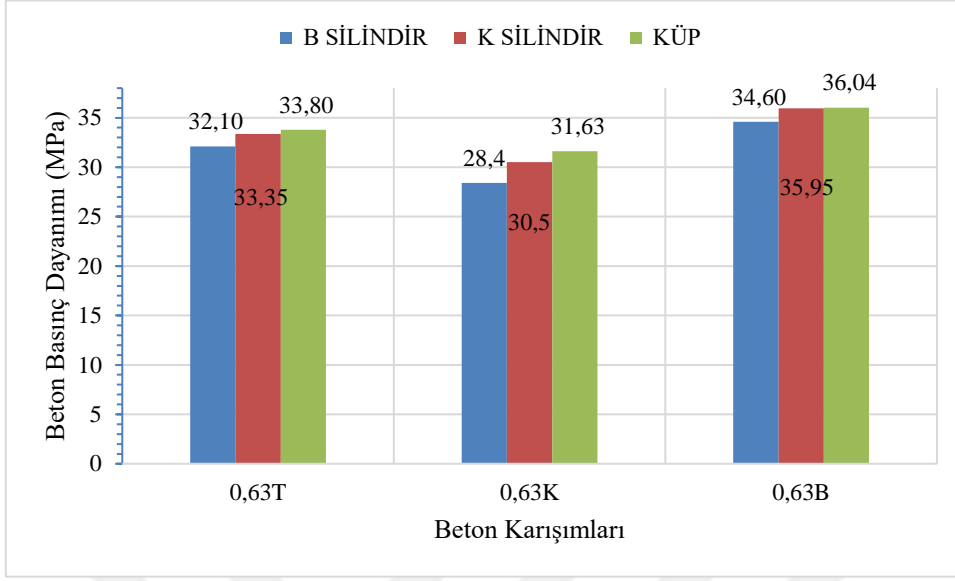
### 5.1.3 Sıcaklık Değerlerinin Kontrol Edilmesi

Üretimlerde laboratuvar ortam sıcaklıkları  $17,5 \pm 0,5$  °C, beton karışım sıcaklıkları ise  $18,2 \pm 1$  °C olarak ölçülmüştür. Sıcaklığın taze beton deney sonuçlarına belirgin bir etkisi gözlemlenmemiştir.

## 5.2 Sertleşmiş Beton Deneyleri

### 5.2.1. Basınç Dayanımı ve Elastisite Modülü

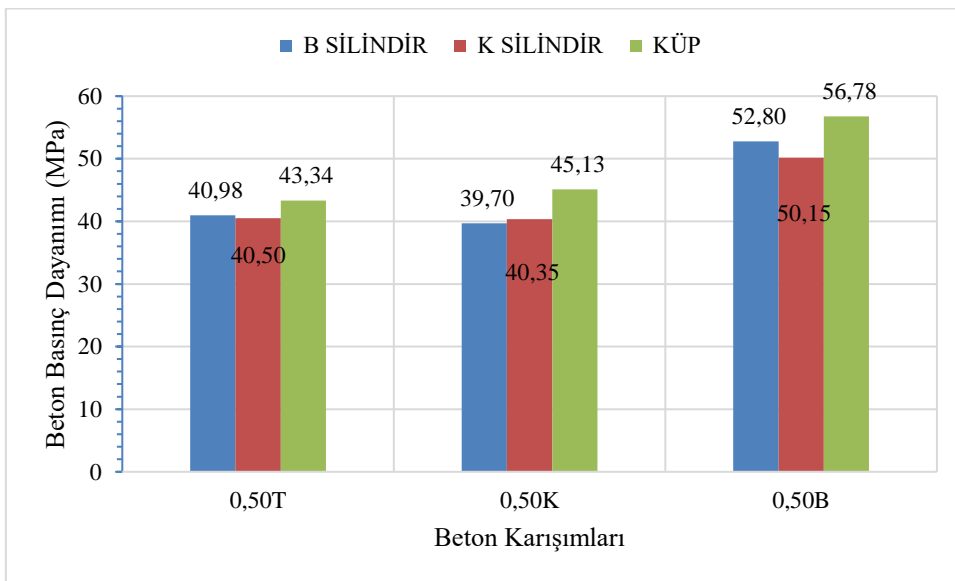
Sertleşmiş beton basınç dayanım sonuçları 0,63 S/Ç oranına ait büyük silindir, küçük silindir ve küp basınç için Şekil 5.3'teki grafikte verilmiştir.



Şekil 5.3. S/Ç oranı 0,63 olan karışımların beton basınç dayanımları

Basınç dayanımı grafiklerinde dayanım eksenindeki değerlerin oluşturduğu aralık belirgin bir farklılık göstermemektedir. Kendi basınç sınıflarına göre değerlendirme yapıldığında grafiklerde görüldüğü üzere 0,63 S/Ç oranına göre hazırlanan karışımlarda agrega türünün belirgin bir fark yaratmadığı gözlemlenmiştir.

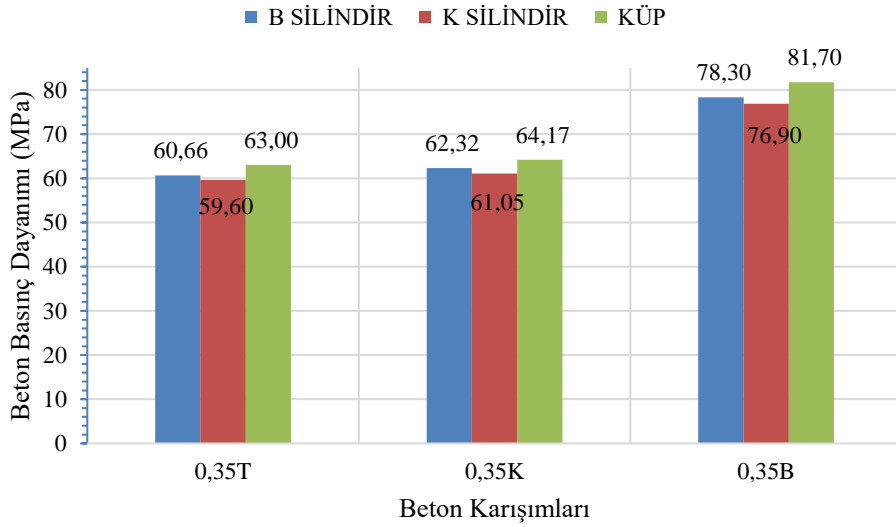
Sertleşmiş deney sonuçlarında 0,50 S/Ç oranına ait büyük silindir, küçük silindir ve küp basınç dayanım sonuçları Şekil 5.4'teki grafikte verilmiştir.



Şekil 5.4. S/Ç oranı 0,50 olan karışımların beton basınç dayanımları

Basınç dayanım grafiklerinde dayanım eksenindeki değerlerin 0,50 S/Ç oranına göre oluşturduğu aralık, kalker ve traverten agregalı karışımların belirgin bir fark oluşturmadığı, bunlardan farklı olarak bazalt esaslı agregaların basınç dayanım değerlerinin farklılık oluşturduğu ve daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Dayanım değerlerine bakıldığında kalker ve traverten içerikli agregaların kendi aralarında değerlendirildiğinde aynı davranış gösterdiği bazalt esaslı agregaların onlardan farklı bir davranış gösterdiği gözlemlenmiştir.

Sertleşmiş deney sonuçlarında 0,35 S/Ç oranına ait büyük silindir, küçük silindir ve küp basınç dayanım sonuçları Şekil 5.5'teki grafikte verilmiştir.

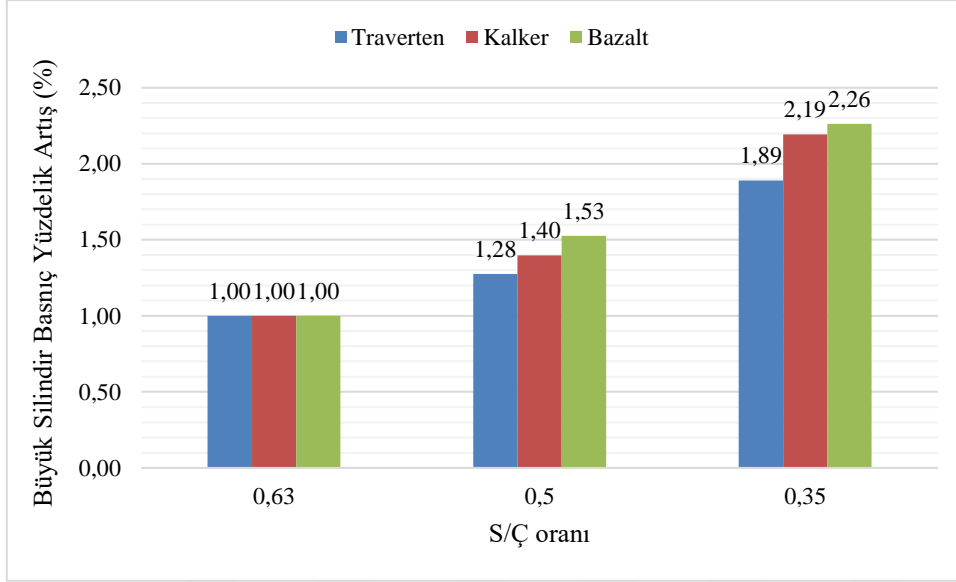


Şekil 5.5. S/Ç oranı 0,35 olan karışımların beton basınç dayanımları

Basınç dayanım grafiklerinin dayanım değerlerine bakıldığında 0,35 S/Ç oranında kalker ve traverten esaslı agregaların, 0,50 S/Ç oranındaki kalker ve traverten esaslı agregalarının davranışlarına benzer davranışta bulunduğu, bazalt esaslı agregaların daha belirgin bir şekilde onlardan daha yüksek değerlere sahip olduğu gözlemlenmiştir.

Basınç dayanım değerlerine bakıldığı zaman S/Ç oranı değiştikçe kalker ve traverten agregalı beton karışımlarının aynı davranışlar gösterdiği, bazalt agregalı beton karışımlarının onlardan farklı bir davranış sergilediği görülmüştür. Numune şekli etkisinde ise büyük ve küçük silindirlerin yakın değerlerde olduğu, küp numunelerin ise silindir numunelere kıyasla daha yüksek dayanım değerlerine sahip olduğu görülmüştür. Bunun nedeni olarak narinlik etkisi bilinen bir açıklamadır.

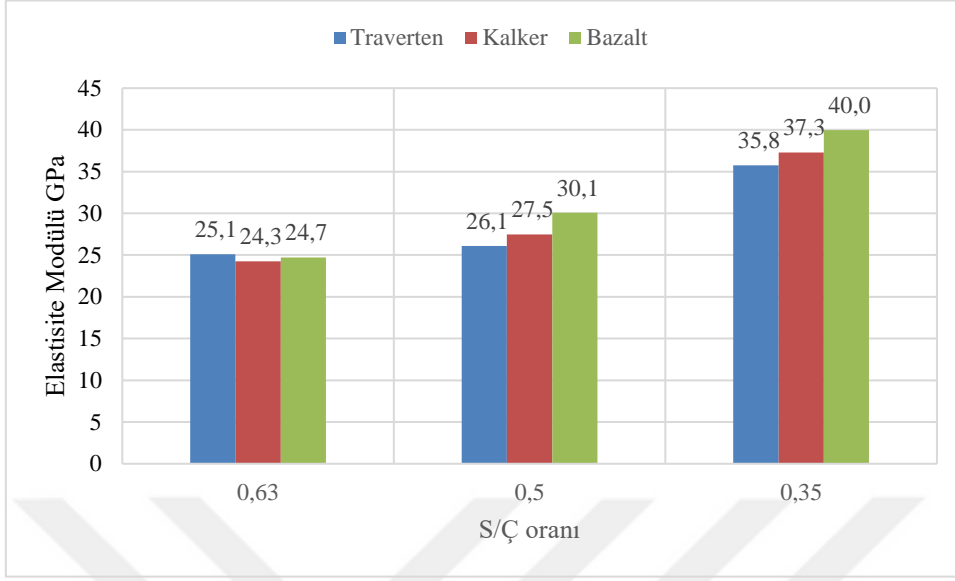
Sertleşmiş beton basınç dayanımı deney sonuçlarında karışımların kendi içlerinde S/Ç oranına göre % artış miktarları büyük silindir numuneler için Şekil 5.6'daki grafikte verilmiştir.



Şekil 5.6. Basınç dayanım artışları

Dayanım grafiklerinin agrega türüne göre yüzdesel artışları incelendiğinde; traverten agregalı betonların 0,5 ve 0,35 S/Ç oranlarında, 0,63 S/Ç oranına kıyasla dayanımları sırasıyla %28 ve %89 oranlarında artmıştır. Benzer olarak kalker agregalı betonlarda bu artışlar %40 ve %119 olarak elde edilmiştir. En yüksek dayanım artışları ise bazalt agregalı betonlarda sırasıyla %53 ve %126 olarak gerçekleşmiştir.

Elastisite modülü deney sonuçları Şekil 5.7'de verilmiştir.

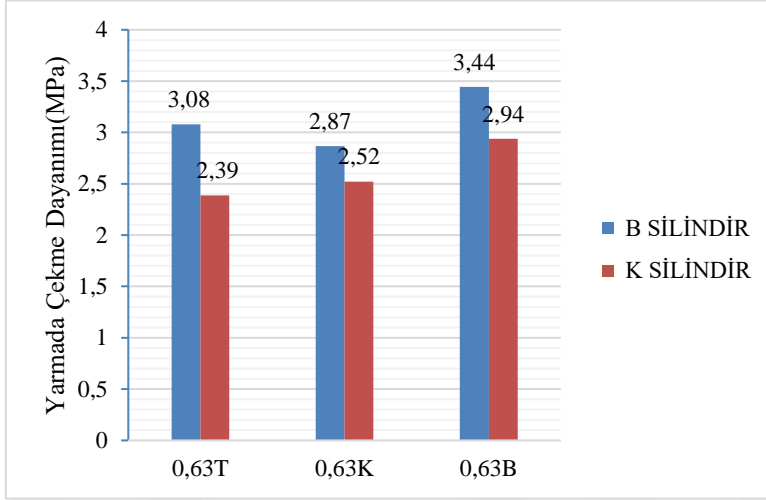


Şekil 5.7. Elastisite modülü sonuçları

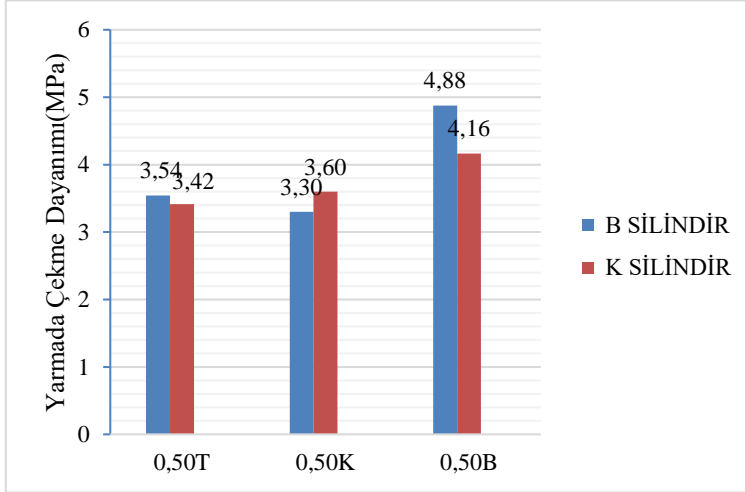
Beton karışımlarının elastisite modülü değerleri değerlendirildiğinde; S/Ç oranı 0,63 olan karışımlarının ortalama 25 GPa, S/Ç oranı 0,50 olan karışımların ortalama 27 GPa, S/Ç oranı 0,35 olan karışımların ortalama 37 GPa elastisite modülü değeri olduğu gözlemlenmiştir. Yüksek S/Ç oranına sahip betonlarda agrega tipinin elastisite modülü üzerinde belirgin bir etkisi gözlenmezken, düşük S/Ç oranına sahip yüksek dayanımlı betonlarda bazalt agregasının daha yüksek elastisite modülü sağladığı ve traverten agregasının ise daha düşük elastisite modülü sağladığı görülmüştür.

### 5.2.2 Yarmada çekme dayanımı

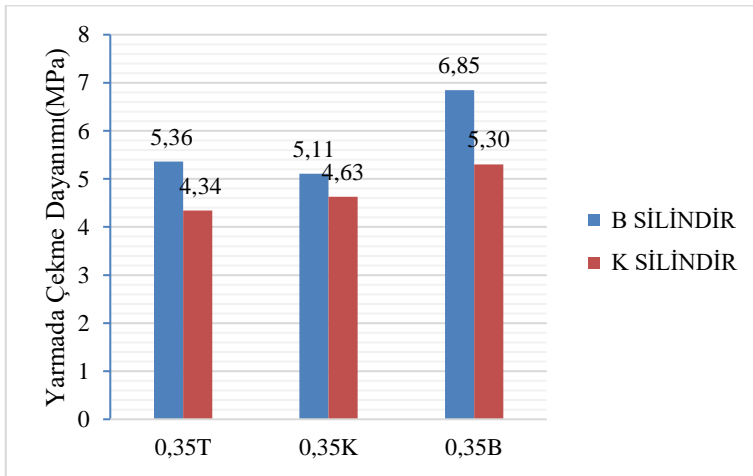
Büyük ve küçük silindir numuneler üzerinde yapılan yarmada çekme dayanım sonuçları Şekil 5.8'deki grafikte verilmiştir.



(a) S/Ç oranı 0,63 olan beton karışımları



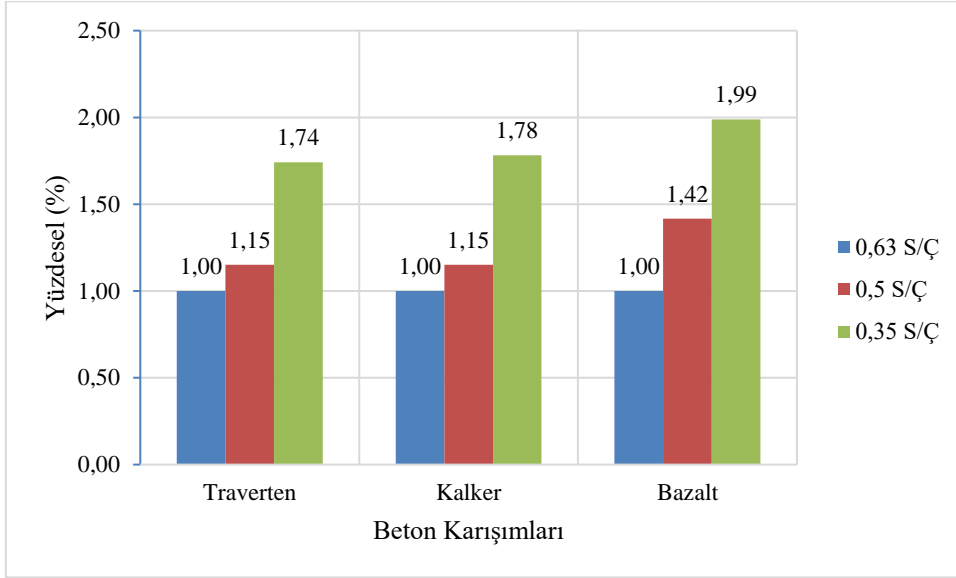
(b) S/Ç orranı 0,50 olan karışımları



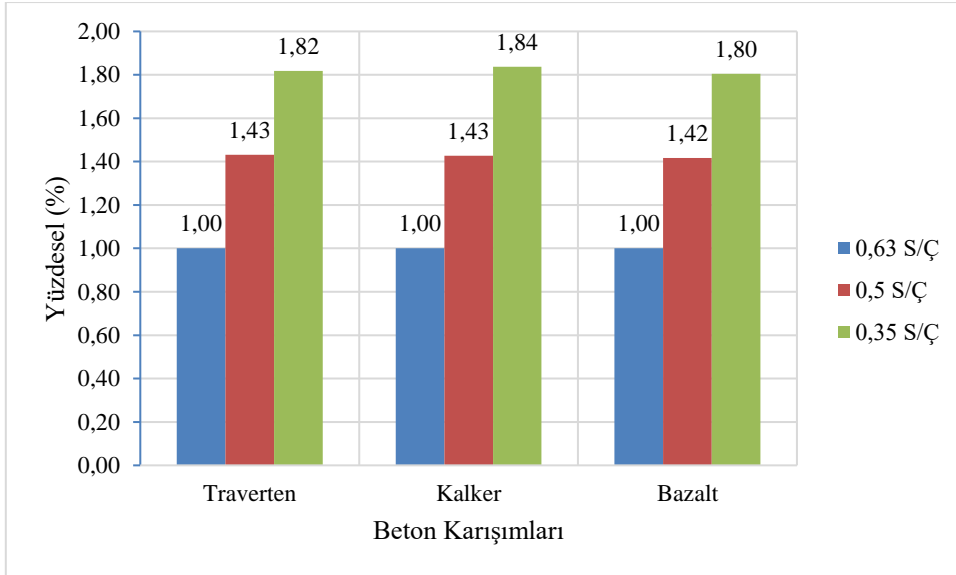
(c) S/Ç 0,35 olan beton karışımları

Şekil 5.8. Yarmada çekme dayanım değerleri grafiklerde

Karışımlarda kullanılan agrega türüne göre büyük silindir ve küçük silindir yarmada çekme dayanım sonuçları sırasıyla 0,63, 0,50 ve 0,35 serileri için ortalama 3,28 MPa- 2,72 MPa, 3,91MPa - 3,53MPa ve 5,77 MPa – 4,69 MPa olarak elde edilmiştir. Karışımların S/Ç oranına göre yüzdesel değişim grafikleri Şekil 5.9 da verilmiştir.



(a) Büyük silindir beton karışımları

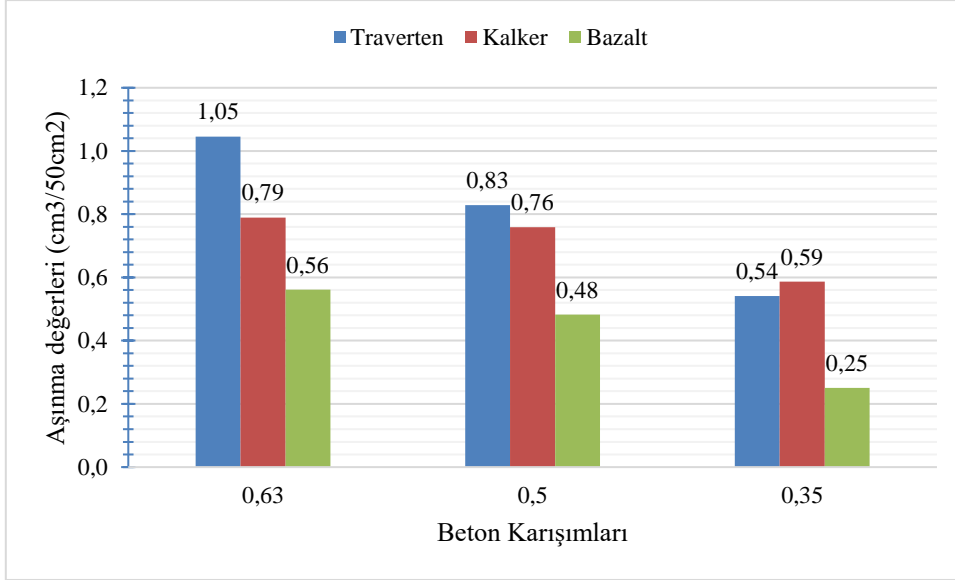


(b) Küçük silindir beton karışımları

Şekil 5.9. Yarmada çekme dayanımı artışları

### 5.2.3 Aşınma (Böhme)

Her bir agrega türü için farklı S/Ç oranlarında elde edilen aşınma deney sonuçları Şekil 5.10'daki grafikte gösterilmiştir.



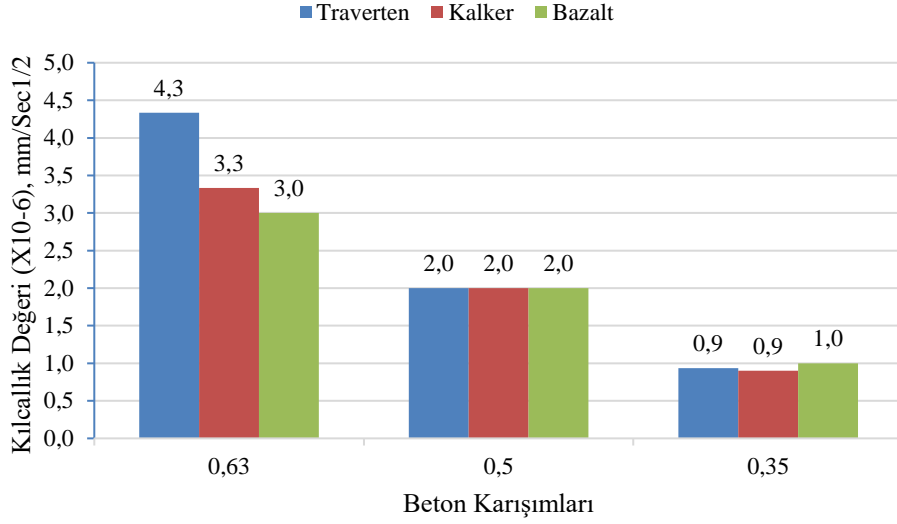
Şekil 5.10. Aşınma (böhme) deney sonuçları

Bazalt agregası içeren betonların aşınma dayanımı değerleri diğer agrega türlerine göre daha iyi sonuçlar vermiştir. S/Ç oranı 0,63 olan beton karışımların da traverten agregası kalker agregasına göre yüzdesel olarak %32 bazalt agregasına göre ise yüzdesel olarak %86 daha fazla aşınmaya maruz kalmıştır. S/Ç oranı 0,50 olan beton karışımların da traverten agregası kalker agregasına göre yüzdesel olarak %9 bazalt agregasına göre ise yüzdesel olarak %72 daha fazla aşınmaya maruz kalmıştır. S/Ç oranı 0,35 olan beton karışımların da traverten agregası kalker agregasına göre yüzdesel olarak %8 oranında daha az aşınmıştır. Bazalt agregasına göre ise yüzdesel olarak %116 daha fazla aşınmaya maruz kalmıştır.

Bütün karışımlarda S/Ç oranı azaldıkça aşınmaya karşı direnç artmıştır. Traverten agregasının Los Angeles aşınma deneyi sonuçlarının da diğer agregalara kıyasla daha yüksek olduğu dikkate alındığında, özellikle yüksek S/Ç oranına sahip betonlarda, traverten agregası içeren beton karışımlarının daha yüksek aşınma kaybına uğramış olmasının nedeni açıklanabilir.

## 5.2.4 Kılcallık

Kılcal geçirimlilik deney sonuçları Şekil 5.11'deki grafikte verilmiştir.



Şekil 5.11. Kılcallık deney sonuçları

Beklenildiği üzere S/Ç oranı azaldıkça kılcal geçirimlilik değerleri azalmıştır. Kılcal geçirimlilik deney sonuçlarında 0,63 S/Ç oranındaki beton karışımlarında agrega türüne göre farklılıklar olduğu gözlemlenmiştir. S/Ç oranı 0,50 ve 0,35 olan karışımlarda ise agrega türünün bir etkisi olmadığı ve değerlerin yaklaşık olarak aynı olduğu belirlenmiştir. Yüksek S/Ç oranına sahip betonlarda kılcal geçirimlilik değerleri belirgin olarak daha yüksek elde edilmiştir. Bununla beraber, traverten atığı agregalar ile üretilen betonların daha yüksek geçirimlilik değerlerine sahip olduğu görülmüştür. Bu sonuç üzerinde traverten agregasının yoğunluğunun düşük olmasının ve dolayısıyla boşluk oranının yüksek olmasının etkili olduğu düşünülmektedir.

## 6. SONUÇLAR

Deneyel çalışmalar kapsamında elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir.

1. Taze betonlarda yapılan çökme deneyi sonuçlarına göre traverten agregaları beton karışımları ile kalker agregalı beton karışımlarının çökme değerlerinin bazalt agregalı beton karışımlarına göre daha az katkıyla elde edilebildiği görülmüştür. S/Ç oranı düştükçe bu etki daha da belirgin olmuştur. Agregalara yapılan deneyler gözlemlendiğinde, metilen mavisi deney sonuçlarına göre bazalt agregası metilen değeri büyük olmak üzere sırasıyla traverten ve kalker agregaları sıralanmıştır. Böylece çökme deneylerinde elde edilen farklılık metilen mavisi deney sonuçları ile açıklanabilmektedir. Düşük metilen mavisi değerine sahip traverten agregalarının betonlarda kullanımı taze beton deneyleri sonuçlarına göre olumlu olarak değerlendirilebilir.

2. Traverten agregası yoğunluğu kalker ve bazalt agregası yoğunluğuna göre düşük elde edilmiştir. Bu sonucun traverten agregası içeren betonların birim ağırlığının kalker ve bazalt beton birim ağırlığına göre düşük çıkmasına sebep olduğu düşünülmektedir. Çok belirgin bir beton birim ağırlığı farkı gözlemlenmediği için traverten agregalı betonların birim ağırlık deney sonuçlarına göre normal ağırlıklı beton üretiminde kullanıma uygun olduğu söylenebilir.

3. Basınç dayanımı deney sonuçlarına göre traverten agregalı beton karışımlarının karakteristik beton dayanım sınıfı, kalker agregalı beton karışımlarının karakteristik beton dayanım sınıfı ile aynı sonuçları vermiştir. Bazalt agregalı beton karışımlarının karakteristik beton dayanım sonuçları düşük S/Ç oranına sahip karışımlarda traverten ve kalker esaslı agregası içeren betonlara göre bir üst sınıf değerlerde elde edilmiştir. S/Ç oranı azaldıkça beton karışımlarının davranışları traverten ve kalker agregalarında farklılık göstermemiştir. Traverten agregalı betonların basınç dayanım performansları değerlendirildiğinde, sadece normal dayanıma sahip betonlarda değil aynı zamanda yüksek dayanıma sahip betonlarda da kullanıma uygun oldukları söylenebilir.

4. Traverten agregalı beton karışımların kalker ve bazalt agregalı beton karışımlarına göre yüksek S/Ç oranına sahip düşük dayanımlı betonlarda elastisite modül değerlerinin yakın olduğu gözlemlenmiştir. S/Ç oranı düştükçe traverten agregalı betonların daha düşük elastisite modülü değerlerine sahip olduğu görülmüştür. Buna rağmen traverten agregalı betonlarla

uygun elastisite modülüne sahip betonlar üretilebileceği söylenebilir.

5. Yarmada çekme dayanım açısından traverten agregalı beton karışımlarının kalker agregalı beton karışımları ile benzer performansı gösterdiği, bazalt agregalı beton karışımlarının ise bu karışımlara kıyasla daha yüksek yarmada çekme dayanımına sahip olduğu görülmüştür. Kalker agregası ile benzer yarmada çekme dayanımı değerlerine sahip olan traverten agregasının yarmada çekme dayanımı sonuçlarına göre betonlarda kullanımı açısından bir sakınca bulunmadığı söylenebilir.

6. Traverten agregalarının Los Angeles aşınma dayanımları bazalt ve kalker agregasına göre belirgin olarak daha yüksek değer vermesine rağmen basınç ve yarmada çekme dayanımlarında diğer agregalara yakın performans sergilemiştir. Fakat Los Angeles aşınma deney sonucunun etkisi aşınma (Böhme) dayanımı deneyinde görülmüş olup traverten agregası daha düşük değerlere sahip olmuştur.

7. Kılcal geçirimsizlik deney sonuçlarına göre yüksek S/Ç oranına sahip düşük dayanımlı betonlarda, traverten agregası daha yüksek geçirimsizlik katsayısına sahip olmuştur. Bu sonuç üzerinde traverten agregasının daha düşük yoğunluğa ve daha fazla boşluk oranına sahip olmasının etkisi olduğu düşünülebilir. Ancak, S/Ç oranı arttıkça agrega tipinin kılcal geçirimsizlik açısından bir etkisinin olmadığı daha çok matris dayanımının etkisinin olduğu görülmüştür.

Çalışma kapsamında yapılan deneyler sonucunda traverten atık parçalarından elde edilen agregalar ile mekanik dayanımlar açısından yapılarda kullanılabilir betonlar elde edilebileceği ortaya konmuştur. Ancak, aşınma ve kılcal geçirimsizlik deney sonuçlarına göre traverten agregası içeren betonların çevresel koşullara açık saha betonlarında kullanımları sakıncalı bulunmuştur. Traverten agregalı betonların çevresel koşullara dayanıklılığını değerlendirebilecek ileri yaş deneyleri ile bu konunun araştırılması ve traverten agregalı betonların saha betonu uygulamaları için de değerlendirilmesi gerekmektedir.

## KAYNAKLAR

Akbulut, H. ve Gürer, C. (2006). Atık mermerlerin asfalt kaplamalarda agrega olarak değerlendirilmesi. *İnşaat Mühendisleri Odası Teknik Dergi*, 261, 3943-3960.

Akçaözoğlu, S., Atiş, C. D. and Akçaözoğlu, K. (2010). An investigation on the use of shredded waste PET bottles as aggregate in lightweight concrete. *Waste Management*, 3(2), 285-290.

Akıllı, A. (2012). *Bazalt agregasının mekanik özelliklerinin yol üstyapısında kullanımı açısından incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.

Arioğlu, E., Arıoğlu, N. ve Yılmaz, A.O. (1999). *Çözümlü Beton Agregaları Problemleri*. Türkiye: EVRİM Yayın Evi.

Binici, H., Shah, T., Aksogan, O. and Kaplan, H. (2008). Durability of concrete made with granite and marble as recycle aggregates. *Journal of Materials Processing Technology*, 208(1), 299-308.

Ceylan, H. ve Mança, S. (2013). Mermer Parça Atıklarının Beton Agregası Olarak Değerlendirilmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Teknik Bilimler Dergisi*, 3(2), 21-25.

Çobanoğlu, İ., Çelik, S., Çam, O., Etiz, H. ve Kurşun, M. (2014). Denizli Bölgesi Traverten Artıklarının Beton Agregası Olarak Kullanılabilirliğinin İncelenmesi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 20(3), 92-99.

Çoruh, E., Hınıslioğlu, S., Kocakerim, M., Arasan, S. ve Oltulu, M. (2013). Borojipsin Alt Temel Tabakasında Stabilizasyon Malzemesi Olarak Kullanılmasının Araştırılması. *Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 6(2), 221- 231.

Erdal, M., ve Şimşek, O. (2011). Ahlat Taşı (İgnimbrit) Atıklarının Taş unu Olarak Beton içinde Kullanılabilirliğinin Araştırılması. *Journal of Polytechnic*, 14(3), 173-177.

Erkonat ve diğ. (2012). Türkiye Geneli Doğal Taş Potansiyel Alanlarının Belirlenmesi Projesi. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.

Filiz, M., Özel, C., Soykan, O. ve Ekiz, Y. (2010). Atık Mermer Tozunun Parke Taşlarında Kullanılması. *Electronic Journal of Construction Technologies*, 6(2), 57-72.

- Gürer, C. (2005). *Atık mermer parçalarının yol kaplamalarında değerlendirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.
- Güven, H. (2015). *Denizli ve çevresindeki traverten atıklarının betonda katkı malzemesi olarak kullanılması*. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- Kavas, T. ve Kibici, Y. (2001). Afyon Bölgesi Mermer Atıklarının Portland Kompoze Çimentosu Üretiminde Katkı Maddesi Olarak Kullanım Olanakları. *Mersem Bildiriler Kitabı*, Afyon, 327-335.
- Korkmaz, V. (2017). *Bor endüstri atıkları ve traverten atıklarının çimento üretiminde katkı maddesi olarak değerlendirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas.
- Köken, A., Köroğlu, M. A. ve Yonar, F. (2008). Atık Betonların Beton Agregası Olarak Kullanılabilirliği. *Selçuk Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Teknik-Online Dergi*, 7.
- Mesci, B., Ergun, O. N. ve Çakıroğlu, M. (2007). Bakır Endüstrisi Atıklarının Beton Katkı Maddesi Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması. *2.Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyumu*, 300-309.
- Süer, M.ve Yakar, F. (2020). Alaşehir (Manisa) Bölgesi Traverten Atıklarının Yol Alttemel ve Temel Tabakalarında Kullanılabilirliğinin Araştırılması. *Akademik Platform Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 8, 2, 388 – 395.
- Okubay, M. (2016). *Bitümlü sıcak karışımlarda agrega olarak mermer atığı kullanımının araştırılması mermer atıklarının bitümlü sıcak karışımların stabilite özelliklerine etkisi*. Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Özdemir, E., Sarıcı, D. ve Sarıcı, T. (2017). Doğu anadolu bölgesinde bulunan bazı mermer atıklarının yol temel ve alt temel tabakalarında kullanılabilirliğinin değerlendirilmesi. *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 039, 13 – 20.
- Seren, I. S. (2015). *Elektrik ark fırını cürufunun yapay agrega olarak esnek üstyapıların çimento bağlayıcılı granüler temel tabakasında kullanılabilirliğinin incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Şimşek, O. ve Çiftci, M. M. (2006). Tuğla Ununun Çimentoda Puzolanik Katkı Maddesi Olarak Kullanılabilirliği. *Journal of Polytechnic*, 9(4), 325-329.

TS EN 1097-2:2020, Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler bölüm 2: Parçalanma direncinin tayini için metotlar, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 1097-5:2009, Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler- Bölüm 5: Hava dolaşımı etüvde kurutma ile su muhtevasının tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 1097-6:2013, Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler bölüm 6: Tane yoğunluğu ve su emme oranının tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 1367-2:2010, Agregaların termal ve bozunma özellikleri için deneyler bölüm 2: Magnezyum sülfat deneyi. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 933-1:2012, Agregaların geometrik özellikleri için deneyler bölüm 1: Tane büyüklüğü dağılımı tayini- Eleme metodu. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 933-3 :2012, Agregaların geometrik özellikleri için deneyler bölüm 3: Tane şekli tayini yassılık endeksi. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 933-4:2009, Agregaların geometrik özellikleri için deneyler- Bölüm 1: Tane şeklinin tayini- Şekil indisi. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 933-9+A1:2013, Agregaların geometrik özellikleri için deneyler- Bölüm 9: İnce malzeme tayini- Metilen mavisi deneyi. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

Ural, N. ve Yakşe, G. (2015). Atık Mermer Parçalarının Yol Temel Malzemesi Olarak Değerlendirilmesi. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2(2), 53-62.

Yakşe, G. (2016). *Atık mermer parçalarının yol temel malzemesi olarak değerlendirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilecik.

Yazıcıoğlu, S. ve Demirel, B. (2006). Puzolanik Katkı Maddesi Olarak Kullanılan Elâzığ Yöresi Pomzasının İlerleyen Kür Yaşlarında Betonun Basınç Dayanımına Etkisi *Science and Engineering Journal of Firat University*, 18(4), 367-374.

Yılmaz, A. ve Sütaş, İ. (2008). Ferrokrom Cürufunun Yol Temel Malzemesi Olarak Kullanımı. *İnşaat Mühendisleri Odası Teknik Dergi*, 294, 4455-4470.

Yılmaz, A., Saltan, M. ve Akıllı, A. (2012). Göller Yöresinde İşletilen Kireçtaşı Agregalarının

Yol İnşaatı Malzemesi Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 18(3), 199-207.

Yılmaz, A.O, Alp, İ., Kaya, R. ve Çavuşoğlu, İ. (2003). Trabzon İlindeki Taşocaklarının İncelenmesi ve Agrega Potansiyelinin Belirlenmesi. *3. Ulusal Kırmataş Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, 133-142, İstanbul.

Yonar, F., Dikbaş, A. ve Dođan, I. (2017, Kasım 22-24). Dökümhane Cürufunun Karayolu İnşaatında Dolguda ve Granüler Tabakalarda Kullanım olanakların Araştırılması. *7. Geoteknik Sempozyumu*, İstanbul.

