



**T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**DOĞALTAŞ ELEMANLARI ÜRETİM TESİSİNDE OLUŞAN
GRANİT TOZUNUN BETON KATKI MADDESİ OLARAK
KULLANILABİLİRLİĞİ**

Yüksek Lisans Tezi

Resul KAZANBAŞ

Danışman

Doç. Dr. Andaç AKDEMİR

SAMSUN
2022

T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI



DOĞALTAŞ ELEMANLARI ÜRETİM TESİSİNDE OLUŞAN
GRANİT TOZUNUN BETON KATKI MADDESİ OLARAK
KULLANILABİLİRLİĞİ

Yüksek Lisans Tezi

Resul KAZANBAŞ

Danışman

Doç. Dr. Andaç AKDEMİR

Bu çalışma Ondokuz Mayıs Üniversitesi tarafından PYO.MUH.1904.22.002 proje numarası ile desteklenmiştir.

SAMSUN
2022

TEZ KABUL VE ONAYI

Resul KAZANBAŞ tarafından, Doç. Dr. Andaç AKDEMİR danışmanlığında hazırlanan “DOĞALTAŞ ELEMANLARI ÜRETİM TESİSİNDE OLUŞAN GRANİT TOZUNUN BETON KATKI MADDESİ OLARAK KULLANILABİLİRLİĞİ” başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından 29.11.2022 tarihinde yapılan sınav sonucunda oy birliği ile başarılı bulunarak Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

	Unvanı Adı Soyadı Üniversitesi Ana Bilim/Ana Sanat Dalı	Sonuç
Başkan	Prof. Dr. Hüseyin Kurtuluş ÖZCAN İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı	<input checked="" type="checkbox"/> Kabul <input type="checkbox"/> Ret
Üye	Prof. Dr. Nurdan Gamze TURAN Ondokuz Mayıs Üniversitesi Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı	<input checked="" type="checkbox"/> Kabul <input type="checkbox"/> Ret
Üye	Doç. Dr. Andaç AKDEMİR Ondokuz Mayıs Üniversitesi Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı	<input checked="" type="checkbox"/> Kabul <input type="checkbox"/> Ret

Bu tez, Enstitü Yönetim Kurulunca belirlenen ve yukarıda adları yazılı jüri üyeleri tarafından uygun görülmüştür.

Prof. Dr. Ali BOLAT
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI

Hazırladığım Yüksek Lisans tezinin bütün aşamalarında bilimsel etiğe ve akademik kurallara riayet ettiğimi, çalışmada doğrudan veya dolaylı olarak kullandığım her alıntıya kaynak gösterdiğimi ve yararlandığım eserlerin Kaynaklar'da gösterilenlerden oluştuğunu, her unsurun enstitü yazım kılavuzuna uygun yazıldığını ve TÜBİTAK Araştırma ve Yayın Etiği Kurulu Yönetmeliği'nin 3. bölüm 9. maddesinde belirtilen durumlara aykırı davranılmadığımı taahhüt ve beyan ederim.

Etik Kurul Gerekli mi ?

Evet (Gerekli ise ekler kısmına ekleyiniz)

Hayır

17 / 06 / 2022
Resul KAZANBAŞ

TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI

Tez Başlığı : DOĞALTAŞ ELEMANLARI ÜRETİM TESİSİNDE OLUŞAN GRANİT TOZUNUN BETON KATKI MADDESİ OLARAK KULLANILABİLİRLİĞİ

Yukarıda başlığı belirtilen tez çalışması için şahsım tarafından 17.06.2022 tarihinde intihal tespit programından alınmış olan özgünlük raporu sonucunda;

Benzerlik oranı : % 13

Tek kaynak oranı : % 3 çıkmıştır.

17 / 06 / 2022
Doç. Dr. Andaç AKDEMİR

ÖZET

DOĞALTAŞ ELEMANLARI ÜRETİM TESİSİNDE OLUŞAN GRANİT TOZUNUN BETON KATKI MADDESİ OLARAK KULLANILABİLİRLİĞİ,

Resul KAZANBAŞ
Ondokuz Mayıs Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı
Yüksek Lisans, Kasım/2022
Danışman: Doç. Dr. Andaç AKDEMİR

Granit, doğal taş olarak yaygın kullanılan bir malzemedir. Bu malzemenin işlenmesi ile ortaya çıkan granit tozu ise genellikle atık olarak atılır. Granit tozunu döngüsel ekonominin gereği olarak geri kazanmak önemlidir. Özellikle yapısı gereği betonda çimento ile birlikte kullanılabilir haldedir. Bu çalışmada; Doğaltaş Elemanları Üretim Tesisine gelen granit bloklarının elmas soket kesme işlemi esnasında oluşan atık granit tozları nemi alınmak suretiyle beton harcının içerisine eklenmiştir. Farklı bileşim oranlarına göre hazırlanan beton kalıpları 7 ve 28 günlük kürlenmenin takibinde basınç dayanım testlerine tabi tutulmuştur. Atık granit tozu ile üretilen çevre dostu betonların karışım hesabında kullanılan atık granit tozu miktarı, ağırlıkça toplam karışım içerisine 10 kg/m³, 20 kg/m³, 30 kg/m³, 40 kg/m³ olacak şekilde çimento ile yer değiştirilerek eklenmiştir. Üretilen betonların çimento oranları sırasıyla 320 kg/m³, 310 kg/m³, 300 kg/m³, 290 kg/m³ ve 280 kg/m³'tür. Çimento oranındaki azalma miktarı kadar etüvde kurutulmuş atık granit tozu eklemesi yapılmıştır. Agreg granülometrileri %65 İnce-%35 İri, %55 İnce-%45 İri ve %45 İnce-%55 İri olarak kullanılmıştır. Betonun işlenebilirlik ve dayanım üzerine çökme, yaş birim hacim ağırlık, kuru birim hacim ağırlık, kürlenme ve basınç dayanım parametreleri belirlenmiştir. Atık granit tozları % 0.79, % 1.19 ve % 1,58 oranlarında çimento harcına eklenmiştir.

Sabit agreg ve su içeriğine göre, granit tozunun % 0,40 ve çimento miktarının % 12,26 olarak belirlendiği uygun değer deney sonuçlarına göre en yüksek basınç dayanım değerleri olan 62,13 MPa (7 günlük) ve 67,50 MPa (28 günlük) olarak elde edilmiştir. Buna göre; belli oranların altına ve üstünde olmamak kaydıyla granit tozunun çimento ile orantılı olarak kullanımı sonuçları olumlu çıkmıştır. Gerek atık granitin geri kazanılması gerekse çimento hammadde maliyetlerinin düşürülmesi açısından değerlendirildiğinde çalışma döngüsel ekonomiye katkı sağlayacak sonuçlara ulaşmıştır.

Anahtar Sözcükler: Doğaltaş, Doğaltaş atıkları, Çevre dostu beton, Granit tozu, Atık yönetimi, Beton katkısı

ABSTRACT

THE USAGE OF GRANITE POWDER GENERATED IN NATURAL STONE ELEMENTS PRODUCTION FACILITY AS A CONCRETE ADDITIVE

Resul KAZANBAŞ
Ondokuz Mayıs University
Institute of Graduate Studies
Department of Environmental Engineering
Master, November/2022
Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Andaç AKDEMİR

Granite is a material that is widely used as a natural stone. Granite dust generated by the processing of this material is generally disposed of as waste. It is important to recover granite dust as a requirement of the circular economy. It can be used together with cement in concrete, especially due to its structure. In this study; Waste granite dust formed during the diamond socket cutting process of granite blocks coming to the Natural Stone Elements Production Facility was added to the concrete mortar by removing its moisture. Concrete molds prepared according to different composition ratios were subjected to compressive strength tests after 7 and 28 days of curing. The amount of waste granite dust used in the mixture calculation of environmentally friendly concrete produced with waste granite dust was added to the total mixture by weight, replacing it with cement as 10 kg/m³, 20 kg/m³, 30 kg/m³, 40 kg/m³. Cement ratios of the produced concretes are 320 kg/m³, 310 kg/m³, 300 kg/m³, 290 kg/m³ and 280 kg/m³, respectively. Oven-dried waste granite powder was added as much as the decrease in cement ratio. Aggregate granulometry was used as 65% Fine-35% Coarse, 55% Fine-45% Coarse and 45% Fine-55% Coarse. Workability and slump on strength, wet unit weight, dry unit weight, curing and compressive strength parameters were determined. Waste granite powders were added to the cement mortar at the rates of 0.79%, 1.19% and 1.58%.

The highest compressive strength values were 62.13 MPa (7 days) and 67.50 MPa (28 days) according to the appropriate value test results, in which the granite dust was determined as 0.40% and the cement amount as 12.26%, according to the fixed aggregate and water content. According to this; The results of the use of granite powder in proportion to cement, provided that it is not below or above certain rates, were positive. When evaluated in terms of both the recovery of waste granite and the reduction of cement raw material costs, the study has reached results that will contribute to the circular economy.

Keywords: Natural stone, Natural stone wastes, Environmentally friendly concrete, Granite powder, Waste management, Concrete additive

ÖN SÖZ VE TEŞEKKÜR

Hazırlamış olduğum bu tezin önemi; Doğaltaş Elemanları Üretim Tesisinde granit kesme işlemi sırasında ortaya çıkan granit tozlarını beton içerisinde kullanarak, geri dönüşüm maddesi olarak geri kazanımını sağlamak ve çevre dostu betonun elde edilmesini, kaynakların verimli kullanılmasıyla daha ekonomik olmasını sağlamaktır.

Bu tez çalışması kapsamında bilgi ve tecrübelerinden istifade etme imkânı bulduğum, maddi ve manevi her türlü desteği benden esirgemeyen, lisans ve lisansüstü eğitim öğretim hayatım boyunca danışmanlığımı yapan kıymetli hocam Doç. Dr. Andaç AKDEMİR' e saygı ve hürmetlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Bu tez çalışmamın gerçekleşmesinde her türlü destek ve imkânı tarafıma sağlayan başta Samsun Büyükşehir Belediye Başkanı Mustafa DEMİR'e ve Yol Yapım Bakım ve Onarım Dairesi Başkanlığı ile Fen İşleri Dairesi Başkanlığı daire başkanları ve teknik personellere, Samsun Büyükşehir Belediyesi Doğaltaş Elemanları Üretim Tesisi Şube Müdürü Makine Yüksek Mühendisi Emre ŞİRİN' e teşekkür ederim.

Tez yazım sürecinde engin bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan, birlikte yol yürüdüğüm, akademik camia için bulunmaz bir değer olan Ondokuz Mayıs Üniversitesi İletişim Fakültesi Öğr. Gör. Onur ŞEN 'e, görevi gibi hemen her konuda çözüm bulan ya da çözüm için mücadele eden örnek kişilik sahibi Samsun Büyükşehir Belediyesi Çözüm Merkezi İdari Amiri Rümeysa TULUM'a, halef-selef olduğumuz ÜniAK Samsun başkanı Enes Melih AKTÜRK kardeşime, Gıda Mühendisi Zümre ERGÜN'e, Semanur DEMİRKAYA ve Ozan Fırat TOPAL'a teşekkürü bir borç bilirim.

Hayatımın tamamında yanımda olan ve bu günlere gelmemde en büyük destekçim olan annem Semihan KAZANBAŞ, babam Mehmet KAZANBAŞ, ablam Emine KAZANBAŞ KANOĞLU, ablam Saadet ÇİFTÇİ, ağabeyim Mahmut KAZANBAŞ, kızım Rümeysa KAZANBAŞ ve kızımın annesi hayat arkadaşım, eşim Aynur KAZANBAŞ' a her şey için teşekkür ederim.

Resul KAZANBAŞ

İÇİNDEKİLER

TEZ KABUL VE ONAYI	i
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI	ii
TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
TABLolar DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	4
2.1. Doğaltaşların Tarihsel Süreci	4
2.2. Doğaltaşların Sınıflandırılması	4
2.2.1. Granitin Tanımı	6
2.2.2. Bilimsel Tanımı	6
2.2.3. Jeolojik Tanımı	6
2.2.4. Ticari Tanımı	7
2.2.5. Petrografik Tanımı	7
2.3. Doğaltaş Atıkları	7
2.3.1. Doğaltaş Atıklarının Moloz Halindeki Oluşumu	9
2.3.2. Doğaltaş Atıklarının Çamur Halindeki Oluşumu	10
2.3.3. Doğaltaş Atıklarının Geri Kazanım Yöntemleri	13
2.3.3.1. Yapı Sektöründe Geri Kazanım	13
2.3.3.2. Yol Yapımı ve Bakımı Aşamalarında Kullanım	14
2.3.3.3. Yüzey Aşındırıcı Olarak Kullanım	15
2.3.3.4. Cam ve Dolgu Endüstrisinde Geri Kazanımı.....	16
2.3.3.5. Beton Üretiminde Kullanım	18
2.3.4. Doğaltaş Atıklarının Geri Kazanım Yöntemleri Üzerine Yapılan Araştırma Örnekleri.....	18
2.4. Çevre Dostu Beton	23
3. LABORATUVAR ÇALIŞMALARI	25
3.1. Beton Üretiminde Kullanılan Malzemeler	25
3.1.1. Agregası	25
3.1.2. Çimento	27
3.1.3. Kimyasal Katkılar	29
3.1.4. Mineral Katkılar	30
3.1.5. Karışım Suyu	33
3.1.6. Hava	34
3.2. Beton Reçetesi.....	34
3.2.1. Atık Doğaltaş Tozu Katkılı Üretilen Çevre Dostu Beton Karışım Hesabı	34
3.3. Laboratuvarda Yapılan Deney Yöntemleri ve Sonuçları	37

3.3.1. Taze Betonda Yapılan Testler ve Sonuçları	37
3.3.1.1. Çökme (Slump) Testi	37
3.3.1.2. Yaş Birim Hacim Ağırlık	40
3.3.2. Sertleşmiş Betonda Yapılan Testler ve Sonuçları.....	42
3.3.2.1. Kuru Birim Hacim Ağırlığı	42
3.3.2.2. Kütleme Metodu	43
3.3.2.3. Basınç Deneyi.....	43
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	46
KAYNAKÇA.....	47
ÖZGEÇMİŞ	53



SİMGELER VE KISALTMALAR

$\gamma_{\text{Ç}}$: Çimentonun Birim Hacim Ağırlığı
γ_{gt}	: Granit Tozunun Birim Hacim Ağırlığı
γ_{y}	: Yaş Birim Hacim Ağırlık
γ_{k}	: Kuru Birim Hacim Ağırlık
W	: Su
Ç	: Çimento
D	: Yoğunluk
K	: Karışım
GT	: Granit Tozu
PÇ	: Portland Çimento
TS	: Türkiye Standartları
YBHA	: Yaş Birim Hacim Ağırlık
KBHA	: Kuru Birim Hacim Ağırlık

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 Doğaltaşların Moloz Halindeki Oluşumu	10
Şekil 2.2. Doğaltaş Stok Sahası	10
Şekil 2.3. Doğaltaşın Sulu Kesim İşlemi	11
Şekil 2.4. Doğaltaşın Çamur Formunun Su Toplama Kanalları İle Taşınması.....	11
Şekil 2.5. Doğaltaş Atıklarının Çamur Halde Havuzda Bekletilmesi	12
Şekil 2.6. Arıtma Suyunun Geri Devir Sistemi.....	12
Şekil 2.7. Doğaltaş atığın mikroskopik görüntüsü	17
Şekil 3.1. Agrega Dane Şekilleri.....	26
Şekil 3.2. 0-5 mm Agrega (kum)	26
Şekil 3.3. 5-15 mm Agrega.....	27
Şekil 3.4. 15-25 mm Agrega.....	27
Şekil 3.5. CEM I 42.5 R Tipi Çimento.....	28
Şekil 3.6. CHRYSO® Fluid GT – X Kimyasal Katkı.....	30
Şekil 3.7. Doğaltaş Atık Tozunun Etüvde Kurultması	32
Şekil 3.8. Doğaltaş Atık Tozunun Kuru Formu	32
Şekil 3.9. Çökme (Slump) Hunisi Sabitleme	38
Şekil 3.10. Çökme (Slump) Değer Ölçümü	39
Şekil 3.11. Çökme (Slump) Testi Ekipmanları	39
Şekil 3.12 Çökme (Slump) Testi Sonuçları	40
Şekil 3.13. Numune Kapları	41
Şekil 3.14. Yaş Birim Hacim Ağırlığı Ölçüm İşlemi	41
Şekil 3.15 Beton Kürleme Metodu Görüntüsü	43
Şekil 3.16 Beton Numunelerinin Basınç Dayanım Sonuçları.....	45

TABLolar DİZİNİ

Tablo 2.1. Doğaltaşların Sınıflandırılması	5
Tablo 2.2. Doğaltaş Üretim Yöntemleri	8
Tablo 2.3. Doğaltaş Üretim Aşamaları.....	9
Tablo 2.4. Beton Üretiminde Çimento Yerine Granit Tozu Kullanılan Örnek Çalışmalar	22
Tablo 3.1. CEM I 42.5 R Tipi Çimentonun Dayanım Özellikleri.....	28
Tablo 3.2. CEM I 42.5 R Tipi Çimentosunun Fiziksel Özellikleri	29
Tablo 3.3. CEM I 42.5 R Tipi Çimentosunun kimyasal Özellikleri	29
Tablo 3.4. Kimyasal Katkının Teknik Özellikleri.....	30
Tablo 3.5. Puzolanik Malzemelerin Sınıflandırılması.....	31
Tablo 3.6. Doğaltaşın Teknik Özellikleri	33
Tablo 3.7. Doğaltaşın Fiziksel Özellikleri.....	33
Tablo 3.8. Standart C30/37 Beton Reçetesi.....	34
Tablo 3.9. ÖN-1 Numune Beton Hesapları	35
Tablo 3.10. ÖN-2 Numune Beton Hesapları	35
Tablo 3.11. ÖN-3 Numune Beton Hesapları	36
Tablo 3.12. ÖN-4 Numune Beton Hesapları	36
Tablo 3.13. ÖN-5 Numune Beton Hesapları	36
Tablo 3.14. Taze betonun kıvam sınıfları.....	37
Tablo 3.15. Numunelerin Yaş Birim Hacim Ağırlıkları.....	41
Tablo 3.16. Numunelerin Kuru Birim Hacim Ağırlığı.....	42
Tablo 3.17. TS EN 206-1 Standart Beton Sınıfları ve Dayanımları.....	44
Tablo 3.18. Beton Numunelerinin Basınç Dayanım Sonuçları.....	45

1. GİRİŞ

Beton, çimento, su, agrega ve kimyasal veya mineral katkı maddelerinin bağdaşık olarak karıştırılmasından meydana gelen, başlangıçta plastik formda olup, şekil verilebilen, zamanla su ve çimento tepkimeye girerek (hidratasyon) olayı gerçekleşerek mukavemeti artan bir yapı malzemesidir (Özel, 2007). Ana ürünü çimento olan bu yapı malzemesi dünya genelinde inşaat sektöründe oldukça yoğun kullanılmaktadır. Uygulama esnasında çelik donatı ile de uygulanabilen bir yapı malzemesidir (Bentz, 2008).

Beton sektörünün gelişme tarihi 1850 yıllarda olmuştur. 19.yüzyılın başlarında betonarme yapılar önem kazanarak dünyada zamanla yaygın bir şekilde kullanımı artmıştır. Bu sektörün önem kazanmasının nedeni ise daha sonraki yıllarda betonun kalıcılık özelliğinin sürdürebilmesi, döküm esnasında gösterdiği kolaylık, donma ve çözünmeye karşı kalitesinin artması, beton kalitesini belirlemek için kontrol deney makinelerinin icat edilmesi, dayanım ile dayanıklılık ve işlenebilirliğin artması için katkı malzemelerin kullanılması, işçiliğe ve ekonomiye büyük katkı sağlamıştır. Dolayısıyla bu sektörün gelişmesi ile özel beton tiplerinin üretilmesi mümkün olmuştur (Akman, 2010).

Kullanım alanları, yaşamakta olduğumuz binalar, okuduğumuz okullar, hastane binaları, oteller, park yerleri, spor salonları, köprüler gibi insanların ihtiyacı olduğu birçok alanlarda kullanılmaktadır. Bu yapı malzemesinin bu kadar tercih edilmesinin nedeni ise birçok üstün özelliklere sahip olmasıdır (Erdoğan, 2010).

Betonun saf hacmini %75 ölçeğinde agrega (kum, çakıl, mıcır), %10 ölçeğinde çimento, %15 ölçeğinde su olduğu kabul edilmektedir. Lüzumu olduğunda, çimentonun %2 oranından fazla olmamak şartıyla, katkı malzemesi eklenebilir. Betonun bugünün en çok tercih edilen taşıyıcı yapı malzemesi olmasını sağlayan özellikleri ekonomik olması, dijital olarak denetime uygun santraller, transmikserler, pompalar vb. ile imal, sevkiyat ve yerleşim evrelerinde büyük gelişim sağlanmış olması, şekil verilebilme kolaylığı, çelik donatı ile (betonarme) çekme dayanımının eksikliğini giderilmesi, yüksek basınç mukavemetine erişmesi, fiziksel ve kimyasal dış etkilere karşı dayanıklılığı (uzun ömür, bakım kolaylığı), hafif agrega ile hafifletilmesi, pigmentlerle renklendirilmesi olarak açıklanabilir.

Betonun dayanım ve dayanıklılığının artmasına etki eden en önemli faktörler, beton karışım hesabının doğru yapılması, hesap sırasında betonu oluşturan malzemelerin doğru seçilmesi, döküm esnasında sıkıştırma işleminin iyi yapılması, uygun hava koşullarına göre beton dökümünün yapılması ve kürleme işleminin düzenli bir şekilde yapılmasına bağlıdır. Ayrıca yapılan bu uygulamalar yeterli olmayacaktır çünkü üretilen betonun dış faktörlere karşı da korunması gerekmektedir (Bekem vd., 2009).

Betona etki eden dış faktörler, kimyasal, fiziksel, biyolojik ve mekanik olarak dört farklı şekilde görülmektedir. Kimyasal etkenler, zararlı (bünyesinde sülfat içeren sular, deniz suları, bazı asit ve tuzlu) maddelerin dışarıdan betonun içerisine sızması ile gerçekleşmektedir. Fiziksel etkenler, yüksek sıcaklık, donma - çözülme olayı, buz çözücü maddeler vb. ile oluşmaktadır. Biyolojik etkenler, beton içerisindeki kirecin bazı canlı varlıkların vasıtasıyla tüketilmesi sonucu meydana gelmektedir. Mekanik etkenler ise, betonun aşınması, oyulması, darbe ve erozyon olayının gerçekleşmesiyle oluşmaktadır (Baradan vd., 2010). Açık ve nemli ortamlarda da bulunan karbondioksit (CO₂) betonun esasını oluşturan çimento ile reaksiyona girerek karbonatlaşma olayın gerçekleşmesine neden olmaktadır (Gönen ve Yazıcıoğlu, 2004). Betona en çok etki eden olay ise karbonatlaşma olayıdır, bu olay pH derecesinin azalması ile gerçekleşmektedir. Böylece betonarme donatılarında korozyon etkisini meydana getirmektedir. Bu sebepten dolayı tasarım esnasında pas payı bırakılmaktadır (Brueckner, 2007).

Beton teknolojisinin zamanla gelişmesine paralel olarak betonun dayanım ve dayanıklılık özelliklerinin de artması görülmektedir. Bu özelliğin artmasının nedeni ise beton karışımında kullanılan kimyasal ve mineral katkılardır (Ramyar, 2007). Aynı zamanda insanların da ihtiyacı artmaktadır. İnsanların ihtiyacını karşılamak için endüstriyel sektörlerinde ham maddeler işlenmektedir. İşlenme sırasında açığa çıkan atık malzemelerin arttığı tespit edilmiştir (Özcan, 2006).

Endüstriyel atık malzemelerin zamanla arttığı ve bu atık malzemelerin doğaya ve insanların sağlığına çok sorun yarattığı görülmektedir. Bu sebeple bu atık malzemelerin geri dönüşümü için çok çalışmalar yapılarak çevre kirliliğini ve doğal kaynakların tüketimini minimuma indirerek insanların sağlığına ve doğanın tahrip olmasını engellemektir. Dolayısıyla bu konuda daha detaylı araştırmalar yapılması kaçınılmaz bir gerçektir (Öntürk ve Vural, 2014). Endüstriyel atıkların (cüruf, mermer,

uçucu kül, silis dumanı, metal parçaları, lastik, odun parçaları vb.) doğaya verdiği zararların nasıl oluştuğunu şu şekilde özetleyebiliriz, çevreye bırakılan bu atıkların rüzgâr, yağmur, tozlanma ve toprakta süzülme vasıtasıyla kirli ve zararlı maddelerin etrafa yayılarak intikali gerçekleşmektedir. Bu olaya ise radyasyon olayı denir. Bu sebeplerden dolayı, teneffüs ettiğimiz havaya, içtiğimiz suyun kalitesine ve ekonomiye olumsuz etkiler oluşturmaktadır (Pehlivan vd., 2014).

Bilindiği gibi Türkiye dâhil birçok Avrupa ülkeleri kendi aralarında bir uyum süreci içindedirler ve bu uyum süreci içinde bazı konularda (çevre temizliği, tarım sektörü, sağlık sektörü, enerji, eğitim, savunma vb.) düzenlemelerin yapılması için anlaşmışlardır. Görüldüğü gibi taahhüt edilen sorunlardan biri ise çevre sorunudur ve çevredeki sorunları meydana getiren unsurlardan biri ise endüstriyel sektörlerinden çıkan atık malzemelerdir. Bu atık malzemelerin birçoğunun geri dönüşümü için çalışmalar yapılmaktadır. Literatürde bakıldığında granit tozunun geri dönüşümü için yeterince çalışma yapılmamaktadır (Demir, 2009).

Bu tez çalışmasında da Samsun Büyükşehir Belediyesi Fen İşleri Dairesi Başkanlığına bağlı olan Doğaltaş Elemanları Üretim Tesisinde granit blokların kesimi esnasında elde edilen atık granit tozunun Yol Yapım Bakım ve Onarım Dairesi Başkanlığı bünyesinde, özellikle kırsal bölgelerdeki ulaşım taleplerinin karşılanması adına yapılan beton yol çalışmaları için belediyenin üretmiş olduğu C30/37 beton sınıfına uygun karışım içine katılarak çevre dostu bir beton türü elde edilmesi için çalışma yapılmıştır. Karışım reçetesinde kullanılan agregalar Samsun ili Canik ilçesi Kaleboğaz mevkiinde bulunan ocaktan çıkan malzemelerden kullanılmıştır. Çimento CEM-I 42,5 sınıfında ve kimyasal katkı kullanılmıştır. Bu karışımlar yardımıyla, üretilen beton numuneleri üzerinde tahribatlı ve tahribatsız testler uygulanarak (7, 28) günlük dayanım ve dayanıklılık özellikleri belirlenecektir. Bu özellikler kullanılarak, çevre dostu betonların karışım oranlarının belirlenmesi için yüksek doğrulukla ve pratik bir metot geliştirilecektir. Bu metotla, atıkların endüstrideki kullanımının artması hedeflenmektedir. Böylece doğal kaynakların tüketim oranını minimuma indirerek daha ekonomik ve çevre dostu bir beton türü elde edilmesi amaçlanmaktadır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1. Doğaltaşların Tarihsel Süreci

Doğaltaşlar eski zamanlardan bugüne kadar gelen yolculuğunda bireyin yaşantısının değişmez bir parçası olmuştur. İlk çağlarda insanlar temel ihtiyaçları olan av malzemelerinde, barınaklarında, tarım aletlerinde ve silah yapımında doğaltaşları tercih etmiştir. Uygarlıkların gelişmesine paralel olarak doğaltaşların kullanım alanları da gelişmiştir (Taşlıgil ve Şahin, 2016). Gelişime bağlı olarak sanat eserlerinde, teolojik simgelerin inşasında, sosyal ve ekonomik birçok alanda doğaltaşlar kullanılmıştır.

Tarihsel süreç boyunca en önemli sanat ve inşaat eserlerinin yapımında doğaltaşlar kullanılmıştır. Birçok kültüre ait eserlerde doğaltaşların tercih edilme sebebi doğaltaşların kalıcı ve ihtiyamlı bir yapı sergilemesidir (Kazancı ve Gürbüz, 2014; Farrelly, 2011). Günümüze kadar ulaşmış ve doğal taşlardan yapılan birçok tarihi yapı bilinmektedir. Bunlar, Orta Asya'daki Türk kavimlerinin yazıtları, mitolojik taşlar, Mısır Piramitleri, Helenistik, Roma, Bizans, Selçuklu ve Osmanlı dönemlerine ait tiyatro, yol, çeşme, ibadethane, kütüphane, köprüler vb., yapılar şeklindedir (Taşlıgil ve Şahin, 2016).

Tarihsel süreç boyunca inşaat yapılarının birçok bölgesinde ve sanat eserlerinde doğaltaşlar kullanılmış (Yurdakul, 2020). Ve günümüze kadar ilk günkü güzellikleri ile ulaşmıştır. Anadolu coğrafyasında ise özellikle başta Osmanlı olmak üzere Selçuklu, Bizans ve Yunan yapıları yaygındır (Çelik, 2003). Günümüzde bilinen birçok yapının dışında arkeolojik çalışmalar ile eski dönemlere ait yapılar da bulunmuştur. Bu yapıların kalıntılarına bakıldığında ise doğaltaşların egemen olduğu söylenebilir.

Geçmişte olduğu gibi günümüzde de birçok inşaat yapılarında doğal taşlar kullanılmaktadır.

2.2. Doğaltaşların Sınıflandırılması

Doğaltaşlar birçok parametreye göre sınıflandırılabilir. Bunun sebebi doğal taşların renk, sertlik, jeokimya, mekanik ve fiziksel özellikleri açısından oldukça farklı karakterlere sahip olmasıdır. Bu farklılıklar esasında doğaltaşların jeolojik kökenlerinden kaynaklanmaktadır. Bu sebeple genel sınıflandırma kayaçlarda olduğu

gibi magmatik, metamorfik ve sedimanter kökenli taşlar şeklindedir. Bu kökenlerde birçok doğaltaş bulunmakta ve inşaat endüstrisinde kullanılmaktadır. Doğaltaşların sınıflandırılmaları Tablo 2.1.'de detaylıca gösterilmiştir.

Tablo 2.1. Doğaltaşların Sınıflandırılması

Magmatik Kayaçlar	Metamorfik Taşlar	Sedimanter Taşlar
Granitler	Mermerler	Kalkerler
Siyenitler	Gnays	Traverten
Diyorit	Arduvaz	Konglomera
Gabro	Mikaşist	Kiltaşı
Volkanikler	Serpartin	Alçıtaşı
Porfirler	Fillit	Oniks
Andezit	Kuarsit	Tüf
Lavlar		
Bazalt		

Doğal Taşların çeşitliliğinin oldukça fazla olması ve her taşın farklı özelliklerinin bulunması nedeniyle de farklı sınıflandırmalar yapılabilmektedir. Ancak inşaat endüstrisinde genel olarak kullanımına göre bir sınıflama yapmak mümkündür. Parlatılarak (granit, mermer, oniks vb.) veya parlatılmayarak kullanılanlar (bazalt, andezit, tüf, vb.) şeklinde tanımlanmıştır (Onargan vd., 2006). Yukarıda tanımlanan sınıflandırmalara ek olarak doğal taşların farklı özelliklere göre sınıflandırmaları yapılmıştır (Karahan, 2018). Bu tanımlamalar şu şekildedir.

1. Mineraloji ve mineral oranı,
2. Doğal taşta yer alan mineralin tane boyutu,
3. Taşın yapısı ve dokusu,
4. Taşın rengi,
5. Sertlik,
6. Ekonomik şartlar ve ticari özelliklerdir.

Bu tanımlamalar sektörde kabul edilen ve uygulanan sınıflamalardır. İnşaat yapılarında kullanılacak doğal taşın birçok sınıflamada yer alabilmesi de mümkündür. Burada önemli olan hangi sınıflamaya tabi olduklarından çok yapılacak inşaatta doğal taş ile hangi ihtiyacın karşılanacağı durumudur.

2.2.1. Granitin Tanımı

Granit, sert, kristal yapılı minerallerden meydana gelen tane görünümlü magmatik bir kayaç türüdür. Doğada doğal olarak bulunmaktadır. Granitlerin tanımı bilimsel, jeolojik, ticari ve petrografik olmak üzere genellikle dört farklı şekilde yapılmaktadır.

2.2.2. Bilimsel Tanımı

Bünyesinde fazla oranda kalsiyum karbonat, az oranda ise magnezyum karbonat ve farklı metal oksitler bulunduran magmatik kayaçlardır. Metamorfizma olayı ile başkalaşma olayı sonrası oluşan yeryüzünde bulunan bir çeşit maden türüdür. Kayacın üstünde bulunan derzler ise yer sarsıntısının gerçekleşmesi ile oluşmaktadır. Bu derzler ise zamanla kalsitle dolarak granit üstünde bulunan damarları oluşturmaktadır (Kisman and Kan, 2011).

2.2.3. Jeolojik Tanımı

Kayaçlar, bir ya da birçok mineralin birleşmesiyle meydana gelen mineral gruplarıdır. Oluşma şartlarına ve köklerine göre üç çeşit gruba ayrılmaktadır. Magmatik, başkalaşım, tortul bu üç çeşidi oluşturmaktadır (Azizoğlu, 2005; Büyüksağış ve Gürcan, 2005).

Magmatik kayaçlar, akıcı formda bir amfibol bulamacı olan magmanın veya akkorun yeraltının diplerinde veya yüzeyde soğuyarak katı forma gelmesinden sonra meydana gelen kayaçlardır. Diğer bütün taşların en temel bileşenini oluşturur. Plütonik, damar ve volkanik kayaçlar olmak üzere magmatik kayaçlar da oluşum yerlerine göre üç gruba ayrılır. Magmanın soğuması ve katı forma gelmesi yeryüzünün derinliklerinde cereyan ederse meydana gelen kayaçlara plütonik (derinlik kayaçları-örneğin granit) kayaçlar denir. Magmanın soğuma ve katı forma gelmesi yeryüzünde cereyan ederse meydana gelen kayaçlara volkanik kayaçlar (bazalt) denir. Bir başka kayaç türü ise magmadan yerkürenin yüzeyine doğru çıkarken yeryüzüne yakın noktalarda katılaşmasıyla meydana gelen kayaç türleri de yarı derinlik (damar) kayaçları olarak isimlendirilir. Magmatik kayaçlar, kristal yapılı, katmansız ve kütleler şeklindedirler. Yapısında fosil yoktur ve asit etkisine maruz kalmazlar.

Tortul kayaçlar önceden meydana gelmiş kayaçların kırılması, dağılması, başka bir noktaya iletilmesi ya da çökmesi sonucu taşlaşmış bir şekilde meydana gelmesi gibi, önceden var olmuş organizmaların parçalarından da meydana gelebilir. Bu grup

kayaçlar ekseri katmanlı bir özellik barındırmaktadır. Çöktükleri ortamlara göre kimyasal, kırıntılı ve organik tortul kayaçlar olarak gruplandırılabilir.

Metamorfik kayaçlar, mevcut kayaçların basınç ve sıcaklığın yüksek olduğu ortamlarda yaşadığı değişim nedeniyle, fiziksel ve kimyasal yapısının değişmesine neden olan kristalleşme sonrası meydana gelen kayaç türleridir. Metamorfik kayaçların yapısı kristal yapıda olup yeni mineraller içerirler (Azizoğlu, 2005; Şentürk vd., 1996).

2.2.4. Ticari Tanımı

İnşaat sektörünün taleplerine göre istenilen ürün için uygun ebatlarda olan blok çıkarılabilen, kesme, biçme işlemlerine maruz kaldıktan sonra isteğe bağlı cilalama ya da parlatma yapılabilen her türlü kayaç türüne ticari dilde “mermer” denilmektedir. Bu yapılan ticari tanıma göre kalker, traverten, kumtaşı gibi kayaçlara tortul kayaçlar, gnays, mermer, kuvarsit gibi metamorfik taşlara mermer, granit, siyenit, serpantin, andezit, bazalt gibi kayaçlar da magmatik kayaçlar olarak isimlendirilmektedir (Çelik, 2003). Bu tez kapsamında da granit benzeri doğaltaşlar üzerinde çalışma yapılmıştır. Doğaltaşlar geçmişten bugüne kadar av aleti olan baltaların, tarım işlerinde kullanılan araç gerecin imalatında, barınma ihtiyacını karşılamak için belli başlı alanları oluşturmaya, ölümler için mezar ve savaşılar için saldırı ya da savunma aleti, sosyal hayatta iletişim aracı, (kitabeler, yazıtlar) ulaşım aracı olarak yol ya da köprü, ilim ve bilim öğrenme alanları için kütüphane, anıt, inşaat ve boya sektöründe, hamam, ibadethane, çeşme, döşeme ve kaplama işlerinde, süsleme ve heykeltçilik alanlarında kullanılmıştır (Taşlıgil ve Şahin, 2016; Çetin, 2003).

2.2.5. Petrografik Tanımı

Mermerin jeolojik oluşumuna benzer benzer ebatları barındıran kalsit içeren kristal taşların metamorfizma olayı sonrası meydana gelen ve içeriğinde boş alan bulundurmeyen kayaçlardır (Yeşilkaya, 1995).

2.3. Doğaltaş Atıkları

Taş ocaklarında ve doğaltaşların işlem gördüğü alanlar olan fabrikalarda ebat ve şekil verilmesi için uygulanan kesme, biçme uygulamalarına göre ortalama % 30-60'ı oranında doğaltaş atığı meydana çıkmaktadır (Aydın vd., 2013; Ural ve Yakşe, 2015). Atık miktarı doğaltaşın mineral yapısına, süreksizlik özelliğine ve çatlak formuna, üretim ve ebatlama uygulamalarına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir (Şentürk

vd., 1996; Yıldız, 2008; Aydın vd., 2015). Doğaltaş fabrikalarında oluşan atıklar, doğaltaşın formuna, biçimine, ebatına göre sınıflandırılabilir. Büyük ölçekli, taş ocağındaki uygulama sonrası üretimin yaklaşık %30'unu oluşturur ve boyutları santimetre ile metre arasında değişkenlik gösterebilir. Bu atıklara moloz da denilmektedir ve örnekler Şekil 2.1.'de gösterilmektedir. Doğaltaşın işleme tabi tutularak istenilen şeklin verildiği alanlar olan fabrikalarda doğaltaş miktarlarının yaklaşık 1/3'ü toz boyutunda olan toz atıklardır (150 µm'nin altında). Bu atıklara örnek Şekil 2.5.'te gösterilmektedir. Bu atıklar su ile birlikte bekleme havuzuna alındıktan sonra kamyon ya da traktör yardımı ile bertaraf sahalarına transfer edilmektedir. Fabrikanın bulunduğu alanın depo sahası olarak kullanılması çok mümkün olmamaktadır (Aydın, 2014; Aydın, 2015). Atıkların bertaraf sahasına iletilmesi veya başka bir depo sahasına nakledilmesi de ilave maliyet oluşturmaktadır (Çavuş, 2015). Doğaltaş atıklarının çevreye ve doğaya da etkileri vardır. Bertaraf sahaları için toprak kullanımını kısıtladığından dolayı toprak işgaline sebep olmaktadır. Topografik yapıya etki, doğal kaynak sularımızın yapısında bozulma, görüntü ve hava kirliliği gibi etkileri nedeniyle doğaya ve çevremize olumsuz etkileri bulunmaktadır (Ural ve Yakşe, 2015; Akbulut vd., 2006; Görgün ve Ural, 2015).

Tablo 2.2. Doğaltaş Üretim Yöntemleri (Ersoy, 2010)

Üretim Yöntemi	Özellik
Delme, Çatlatma	Kesim yapılacak doğrultuda sıralı delikler açılır. Bu deliklere mermerz çivisi ve yapraklar sıkıştırılarak bloğun çatlaması sağlanır. Her türlü formasyonda düşük yatırımlarla uygulanabilen bir yöntemdir. Ancak, üretim hızı düşüktür ve malzeme kayıp oranları yüksektir. İlk yatırım maliyetinin düşük olmasından dolayı daha çok arama çalışmalarında veya sert kayaların üretilmesinde kullanılmaktadır.
Elmas Telle Kesme	Birbiriyle birleşen üç delik açılır ve bu deliklerden elmas tel geçirilir. Telin döndürülmesi ve geri çekilmesi sonucunda kesim işlemi gerçekleşir.
Zincirlik Kollu Kesicilerle Kesme	Ray üzerine yerleştirilmiş kollu kesicinin kesme düzlemi boyunca hareket ettirilmesiyle kesme işlemi gerçekleşir.
Yöntemlerin Kombinasyonu	Yukarıda belirtilen yöntemler ile birlikte de uygulanabilir. Örneğin çalışmanın daha zor olduğu alt kesimlerde kollu kesiciler, arka ve profil kesimlerde ise basamak yüksekliklerinden dolayı elmas tel kullanılabilir.

Tablo 2.3. Doğaltaş Üretim Aşamaları (Ersoy, 2010; Aydın vd., 2013; Celep vd., 2013)

Aşama	Açıklama
Planlama	Uygulanacak teknoloji ve kullanılacak donanım belirlenmektedir.
Hazırlık	Çalışma alanının temizlenmesi, delme/kesme parametrelerinin belirlenmesi, deliklerin açılması (delme, çatlama ve elmas kesme yöntemlerinde) ve rayların yere sabitlenmesi (zincir kollu kesicilerle esme yönteminde) gibi faaliyetler yapılır.
Kesme	Elmas soketli testereleler yardımıyla blokların kesim işlemi yapılır. Şekil 2.3.'te kesme işlemi gösterilmiştir.
Ayırma	Kesme işlemi tamamlanan kütleler, ana kayaktan bir miktar ileriye ötelenir, devrilir ve dilimleme aşamasına geçilir.
Ebatlama	Kesme yöntemlerinden biri kullanılarak kütle daha küçük ebatlı bloklara (dilimleme) ayrılır. Blokların bazıları çeşitli nedenlerden ötürü (sahadaki süreksizlikler ya da üretim sırasındaki düzensiz parçalanmalar v.b.) geometrik şekle sahip olmamaktadır. Bu blokların kenarlarının düzeltilmesi (sayalama) gerekmektedir. Dilimleme ve sayalama işlemleriyle, bloklar taşınabilir (katrak makineleri ya da elmas diskli kesicilere uygun) boyutlara getirilmektedir.
Stoklama	Bloklar uygun nakliye araçlarıyla taşınarak çeşitli alanlarda depolanırlar.
Levha Üretimi	Levha üretimi sırasıyla mermer blokların istenilen kalınlıkta kesilmesi, kenar-baş kesme, cilalanma/eskitme aşamalarından oluşmaktadır.

2.3.1. Doğaltaş Atıklarının Moloz Halindeki Oluşumu

Doğaltaşların taş ocaklarından çıkarılması esnasında blok şeklinde elde edilmesi sırasında ve doğaltaşın fabrikada granit halde işlenmesi esnasında ve ticari olarak ekonomiye katkısı olmayıp çevreye bırakılan atıklardır. Doğaltaşların moloz halindeki oluşumu Şekil 2.1.'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1 Doğaltaşların Moloz Halindeki Oluşumu

2.3.2. Doğaltaş Atıklarının Çamur Halindeki Oluşumu

Taş ocağından blok halinde gelen doğaltaşlar fabrikanın stok sahasında beklemeye alınıyor. Stok sahası Şekil 2.2.'de gösterilmektedir.



Şekil 2.2. Doğaltaş Stok Sahası

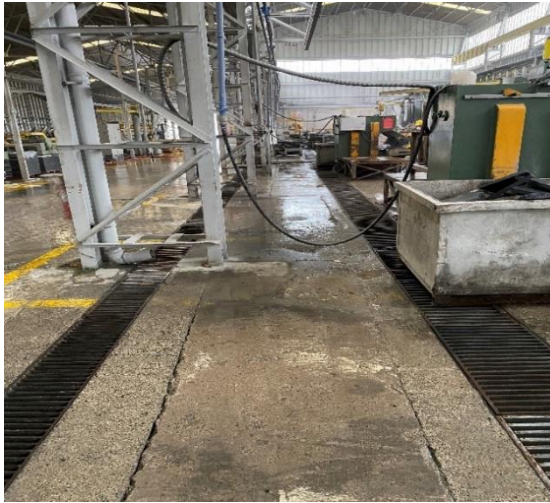
Blok haline gelen taş fabrika içine alınarak istenilen ürünün elde edilmesi için işleme alınır. Doğaltaş kesme işlemlerinde kesici elmas soket ile doğaltaşın teması esnasında fazlasıyla doğaltaş tozu ortaya çıktığı ve bu tozun etrafa uçuşmasını

engellemek için sulu kesim işlemi yapılmaktadır. Doğaltaşın sulu kesim işlemi Şekil 2.3.'te gösterilmektedir.



Şekil 2.3. Doğaltaşın Sulu Kesim İşlemi

Sistemde kullanılan su doğaltaşın tozu ile birlikte çamur formunda su toplama kanalları ile bekleme havuzlarına taşınmaktadır. Su toplama kanalları Şekil 2.4.'de görülmektedir.



Şekil 2.4. Doğaltaşın Çamur Formunun Su Toplama Kanalları İle Taşınması

Havuzda bekletilen atık çamur arıtma tesisine aktarılmaktadır. Gerekli kimyasal katkısı ile su ve toz birbirinden ayrıştırılıp toz çamur halde çöküyor ve toplanarak atık depo sahasına gönderiliyor ve doğaya bırakılıyor. Ayrıştırılan su da yeniden geri devir ile fabrika içine sisteme dahil ediliyor. Doğaltaş atıklarının çamur halinde havuzda bekletilmesi Şekil 2.5.'te gösterilmektedir. Ayrıştırılan suyun geri devir sistemi ile Fabrika içine tekrar gönderilmesi Şekil 2.6.'da gösterilmektedir.



Şekil 2.5. Doğaltaş Atıklarının Çamur Halde Havuzda Bekletilmesi



Şekil 2.6. Arıtma Suyunun Geri Devir Sistemi

2.3.3. Doğaltaş Atıklarının Geri Kazanım Yöntemleri

Doğaltaş atıkları, birçok biçimde geri kazanılmaktadır. Geri kazanım sonrası ticari olarak istenilen ürünlere göre değerlendirme yapılmaktadır. Bu atıklar; yapı sektörü içerisinde yapı malzemesi olarak değerlendirilmektedir. Yol yapımında dolgu, tahkimat ya da uygulama alanına göre gerekli malzeme olarak değerlendirilmektedir. Özellikle cam ve dolgu endüstrisi başta olmak üzere birçok endüstride değerlendirilmektedir. Bu tezin deneysel aşamalarında da gösterildiği gibi çimento ve doğal olarak beton üretiminde de kullanılmaktadır. Ayrıca, sanayi uygulamaları kapsamında ilgili araç gereçlerin aşındırıcı yüzey oluşturması için değerlendirilmektedir. Bu bahsedilen alanlarla ilgili aşağıda bazı değerlendirmeler yapılmıştır.

2.3.3.1. Yapı Sektöründe Geri Kazanım

Seramik imalatında, sönmemiş kireç (CaO) değerlendirilerek seramiğin plastikliği ve mukavemeti iyileştirilebilmektedir. Doğaltaş atık tozlarından elde edilen sönmemiş kireç (CaO), seramik üretiminde kullanılabilir. Doğaltaş tozunun içinden istenmeyen kirleticilerin uzaklaştırılması için manyetik sıyırıcılar değerlendirilebilir (Şentürk vd., 1996; Ceylan, 2000; Yıldız ve Eskikaya, 1995). Ayrıca doğaltaş atıkları porselen karo elde edilmesinde de değerlendirilmektedir. Doğaltaş atığının karo porselen üretiminde ağırlığı %3 ile %6 arası oranda kullanılmasıyla, termal enerjinin de yardımıyla toz tanelerinin birleşmelerinde olumlu izlenim gözlenmiştir. Bundan dolayı karo porselenin hammaddesi olan kil, feldspat, kuvars gibi kayaçların yerine kullanıldığı için hammadde maliyeti azalmaktadır (Kayacı vd., 2018). Seramik yapıştırıcısının elde edilmesinde de Doğaltaş atıklarının tozlarının kullanımı uygundur. Yapıştırıcı imalatında 1/3 oranında kuma eklenen doğaltaş atık tozu, yapıştırıcının yapışkan özelliği, yüksek basınç ve eğilme dayanımına ve düşük su emme özelliklerine sahip olmasını sağlamaktadır (Kürklü vd., 2018). Bununla birlikte doğaltaş atıkları seramiğin mineral yapısına uygun olduğu için hammadde olarak da değerlendirilmektedir (Menezes vd., 2008). Hemen hemen 1/3 oranında doğaltaş atığı içeren seramikler birim hacim ağırlığı, basınç dayanımı, eğilme kuvveti yüksek ve su emme standardı düşüktür (Hojamberdiev vd, 2011). Doğaltaş atıkları sıran göz alıcı alanı olan beyaz noktaların miktarını yükseltmekte ve sırsız değerini düşürmektedir (Yeşilay, 2018). Doğaltaş atıklarının değerlendirilebileceği bir başka alan da inşaat sektörünün temel ürünleri olan tuğla ya da kiremit üretimidir.

Yaklaşık %10 oranında doğaltaş atığı içeren kiremitler su emme, seramik sağlığı açısından ve eğilme dayanımı noktasında çok güzel özellikler oluşturmaktadır (Torres vd., 2009). Tuğla oluşumu için karışımın içeriğine kil ile yarı yarı oranında doğaltaş atıklarının eklenmesi tuğlanın birim hacim ağırlık, basınç dayanımı ve eğilme dayanımı olarak tuğlanın özelliklerini iyileştirmektedir (Dhanapandian vd., 2009).

2.3.3.2. Yol Yapımı ve Bakımı Aşamalarında Kullanım

Esnek ve rijit dokusu bulunan yolların yapımında uygulanan malzeme ve materyallerin büyük bir çoğunluğunu agregalar oluşturmaktadır. Bu agregaların temini için etraftaki taş ocakları değerlendirilmektedir. Bu sayede hem maliyeti hem de uygulamanın hayata geçme zamanı noktasında tasarruf sağlanmış olmaktadır. Bazı noktalarda doğal kaynak ocakları da değerlendirilmektedir. Bu çalışmalardan dolayı doğanın yapısına ciddi etkiler meydana gelmektedir. Doğa ve çevre açısından da uygunsuz durumlar ortaya çıkmaktadır. (Akbulut ve Güner, 2006; Güner, 2004). Atık Doğaltaş atıkları (moloz, toz), asfalt zeminlerde agregata (sürtünme tabakası ile temel ve sathi tabaka arasında bulunan binder tabakalarında), ince malzeme veya bağlayıcı malzeme niyeti ile kullanılabilir. Doğaltaş atıklarının sürtünmeye karşı dayanmalarının tespit edilmesi, asfalt yol kaplamalarında kullanılabilmesi açısından çok önemli olmaktadır. Olağanüstü sürtünmeyle etkilenen bu alanlarda değerlendirilecek agregaların cilalanma dayanımlarının standardın üstünde olması gerekmektedir (Akbulut ve Güner, 2003). Bilindiği üzere, agregaların üzerindeki pürüzlü katmanları kaplama üzerindeki tozlarla da aşındırılabilir. Agreganın yapısındaki minerallerin sertliklerinin yüksek olmaması bu işlemler için uygulama vaktini azaltmaktadır. Bu durumdan başka, agreganın yapısının yumuşak ve sert mineraller tarafından meydana gelmesi de agregata yüzeyinin pürüzlü olması bakımından olumlu sonuç vermektedir. Aşınım esnasında, sert olan mineraller çıkıntı olarak, düşük sertlikteki mineraller ise silinip çukur şeklinde kalmaktadır. Bu şekilde meydana gelen pürüzlülük kayma dayanımının iyileştirilmesine olanak verilmektedir. Uygun bir agreganın yapısında hemen hemen yarı yarıya oranında sert ve düşük sertlik yapısında mineraller olmalıdır. Cilalı yüzey elde edilmesi için dayanım açısından agregata değerleme için ideal olan atık granit, bazalt, diyorit, gibi magmatik ve metamorfik kökeni olan Doğaltaş ocak atıklarıdır (Soltan vd., 2016; Akbulut ve Güner, 2006; Karakuş, 2011). Olağanüstü sürtünmeye maruz olan sürtünme katmanında kullanılmayacak doğaltaş atıkları ise (cilalanma dayanımları 45'ten düşük) temel ve

sathi tabaka arasında bulunan binder tabakası kullanılabilir (Akbulut vd., 2003). Bu katmanın fonksiyonu, yüzeyden aşağı yönde uygulanan basınç ve yükleri yapıya herhangi bir hasar oluşturmadan istenilen daha derinlere ulaştırmaktır.

Kaplama için uygulanan malzemenin bağlayıcı özelliği, kaplamanın yapısında bulunan büyük agregalar ve karışımın yüksek sıcaklığından dolayı daha derinlere doğru iletilmektedir. Bağlayıcının karışımın içerisinde homojen olarak dağılmamasına bu durum sebep olmaktadır. Ayrıca, çok sıcaklık bölgelerin yol üstünde uygulanan bağlayıcılarda deforme olma durumu söz konusu olmaktadır. Bu nedenden dolayı, bağlayıcı-agrega birleşimindeki yapışma kuvvetinin etkisi azalmakta ve dış etken bileşimden agregalar ayrılmaktadır. Bu agregalar, uygulanan alanın belli bir kısmında toplanarak trafik noktasında da sorun teşkil etmektedir. Ayrıca, yol üstünde bulunan sürtünme katsayısını azaltmakta ve aşınım olayını süratle artırmaktadır. Doğaltaş atıkları tozunun bağlayıcı özelliği nedeniyle malzemenin viskozitesi artmaktadır. Bu şekilde de yaşanan sorunlara engel olunmaktadır (Akbulut vd., 2003).

Yolun yapısında bulunan malzemelerin belirli bir rutubet oranında sıkışması gerekmektedir. Killi yapıdaki malzemeler bu sıkışmanın maksimum oranda gerçekleşmesini sağlamaktadır. Bu nedenle, kireç yapısında bulunan çok ince boyutlu doğaltaş atıkları değerlendirilmektedir (Akbulut ve Gürer, 2003; Ergezer, 2018).

2.3.3.3. Yüzey Aşındırıcı Olarak Kullanım

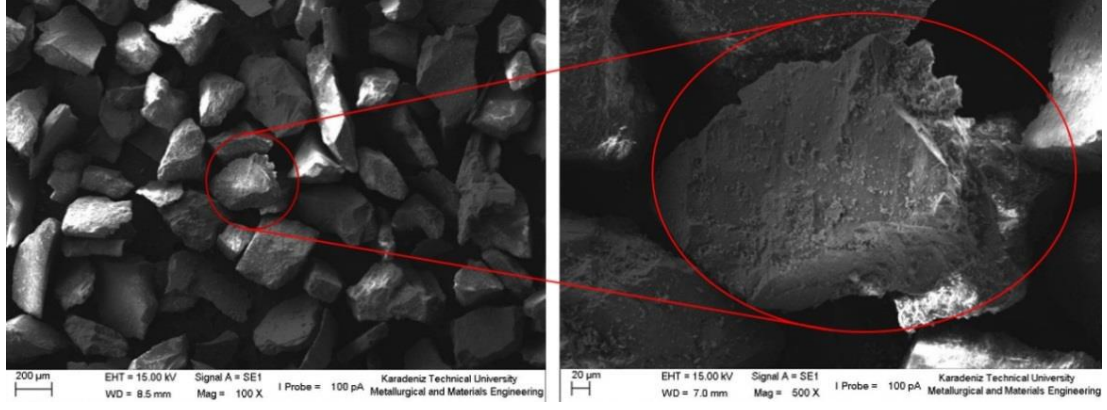
Aşındırıcı su jeti ile kesme yöntemi, bu endüstri içinde değerlendirilen bir başka kesme yöntemi olarak kullanılmaktadır. Su jetinin bir çıkış ucundan (nozül) çıkan yüksek basınçta sahip su (su ve aşındırıcı birleşim) oldukça hızlı bir şekilde doğaltaş yüzeyine uygulanmakta ve bu sayede kesme ya da aşındırma işlemi gerçekleşmiş olmaktadır (Lebar and Junkar, 2004). Bu yöntemde diğer standart uygulanan kesme yöntemlerinde denk gelinen sorunlar olan (kesim yüzeyinde ısı nedeniyle olan sorunlar, kesme aracının kırılması, yüksek basınç şiddeti vb.) görülmemektedir. Kesme performansı açısından aşındırıcı su jeti yöntemi, her türlü detaydan etkilenmektedir (Rapple, 2014). Aşındırıcı su jetinin sağlıklı performans göstermesi için kesilen malzemenin su ile tepkimeye girmemesi gerekmektedir. Ayrıca sertlik, mukavemet, yoğunluk ve şekil olarak istenilen ihtiyacı karşılaması gerekmektedir. (Karakurt vd., 2011; Karakurt vd., 2012). Doğaltaş atıklarının, bu bahsedilen özelliklere göre sorgulanmasıyla potansiyeli belirlenebilir. Bundan dolayı özellikle

doğaltaşlardan granit sınıfından elde edilen atıkların aşındırıcı olarak kullanılabilirliği ilk önce düşünülebilir.

Granitler, başlıca kuvars, feldspat ve plajiyoklaz gibi minerallerden meydana gelmektedir. Granitin atıklarının yapısı içinde su ile tepkimeye girebilecek herhangi bir mineral bulunmamaktadır (Fowler vd., 2009). Granitin birleşiminde bulunan başlıca kayaç yapıcı minerallerin her birinin sertliği 6'nın üstündedir. Bu değer, granitin aşındırıcı su jeti kesme uygulamalarında kullanılan değer olan 7 ile çok yakın olduğu anlaşılmaktadır. Aşındırıcının kesme performansı, aşındırıcı mukavemetinden de değişmektedir. Bir başka yönden de dayanımı yüksek olan aşındırıcılar ise karışım aşamalarında yuvarlanmakta ve aşındırıcının bitmesinden dolayı etkisini kaybetmesi, kesme koşullarının oluşmamasına neden olmaktadır. Bu nedenden dolayı en uygun aşındırıcının hangi aşındırıcı olacağı kararını vermek için parçalanma oranına göre karar verilmelidir. Granitin mineral yapısının, uygun aşındırıcı için doğru tercih olduğu düşünülmektedir. Kesme performansını etkileyen bir başka aşındırıcı özelliği ise şeklidir. Aşındırıcılar, farklı ebat ve şekillerde olabilirler. Aşındırıcı su jeti uygulamalarında en çok tercih edilen şekiller ise yuvarlak ve keskin köşeli aşındırıcılardır. Granit atıkları Doğaltaş kesme işlemlerinde aranan özellikleri ve istenilen performansı karşılamaktadır (Aydın vd., 2017). Granit atıkları, yüksek kalsiyum oksit (CaO) içeriğine ve düşük sertliğe sahip doğaltaşların aşındırma süreçlerinde yapay aşındırıcı olarak da değerlendirilmektedir.

2.3.3.4. Cam ve Dolgu Endüstrisinde Geri Kazanımı

Dünya genelinde kâğıdın elde ediliş aşamasında geri dönüşüm oranı her geçen gün artmakta ve hâlihazırda hatırı sayılı oranda yüksek olduğu bilinmektedir. Kâğıt imalatında değerlendirilen diğer kaynaklar ise sırasıyla kimyasal selüloz, mekanik odun selülozu, pigment/dolgu maddeleri ve kimyasal katkı maddeleridir (Duman, 2015). Kâğıt/karton üretiminde çeşitli dolgu maddeler kullanılarak lifsel hammadde kullanımını azaltılmaktadır. Baskı kalitesini, yüzey alanının içeriğini ve kâğıdın beyazlığını dolgu maddeleri iyileştirmektedir (Karademir vd., 2013). Kâğıt imalatında dolgu ve kaplama maddesi olarak kalsiyum karbonat (CaCO₃) kullanılmaktadır. Bu kayaçlar, tebeşir, kireçtaşı ve mermerler kâğıdın mukavemetinin artmasına neden olmaktadır (Sabah ve Erkan, 2014).



Şekil 2.7. Doğaltaş atığın mikroskopik görüntüsü (Aydın vd., 2017)

Doğaltaşların toz atıklarının bu kapsamda değerlendirilme imkanı bulunmaktadır. Kaplama (mat veya ilk kaplamalarda) ve dolgu amaçlı kullanımlarda kalsiyum karbonat (CaCO_3) oranı sırasıyla %80- %40-%60 civarındadır (Ceylan, 2000). Seramik çalışmasının kalitesini etkileyen, uzun ömürlü olmasını sağlayan, mukavemeti yüksek olması için seramiklerin arasına uygulanan ve ayrıca yalıtımı da sağlamak için derz dolgusu kullanılmaktadır. Derz dolgusunun çok çeşit özellikte olanları bulunmaktadır. İç cephe ile dış cephe arasında farklı özellikte olanlar kullanılmaktadır. Mimari olarak estetik uygunluk sağlamak amacıyla da kullanılmaktadır. Doğaltaş toz atıkları da derz dolgusu üretiminde de kullanılmaktadır. Ancak, üretim aşamalarına uygun hale gelmesi için ilave uğraş ve maliyetler söz konusu olduğu için çok fazla tercih edilmemektedir (Ceylan, 2000).

Cam endüstrisinde de kalsiyum oksit (CaO) ana ürün olarak kullanılmaktadır. Bu ana ürün doğaltaşın atıklarının toz halinin parçalanması ile elde edilebilir. Renksiz cam üretiminde demir oksit (Fe_2O_3) içeriği %1'in altında olan doğaltaş tozları kullanılmaktadır. Demir oksit (Fe_2O_3) içeriği %1'in üzerinde olanlar ise renkli cam üretiminde kullanılmaktadır. Bundan dolayı Doğaltaş atıklarının değerlendirilebilmesi için organik madde yoğunluğunun çok olmaması gerekmektedir (Şentürk vd., 1996; Ceylan, 2000). Camın mukavemetini yükseltmek için 1/10 oranına kadar kalsiyum karbonat (CaCO_3) ve dolomit kullanılmaktadır. Yapılan bazı kimyasal deneyler sonucunda da zaten doğaltaşların bir kısmının yapısında kalsiyum karbonat (CaCO_3) ve dolomit mineralleri olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenden dolayı doğaltaş atıkları cam endüstrisinde de kullanılabilir.

2.3.3.5. Beton Üretiminde Kullanım

Altyapı ve üst yapı çalışmalarına olan talebin her geçen artması nedeniyle agrega ihtiyacı da her geçen gün artmaktadır. Beton üretiminde iri agrega ve kum biçiminde ince agregalar kullanılmaktadır (Ünal ve Kibici, 2001). Doğaltaş atıklarını da belirli işlemlerden geçirdikten sonra iri ve ince beton agregası olarak kullanılabilir (Arsoy vd., 2018; Ceylan ve Mança, 2013). Moloz şeklinde olan doğaltaş atıkları da beton üretiminde agrega kapsamında değerlendirilmektedir (Ceylan ve Mança, 2013). Beton karışımında doğal agregaların yerine değerlendirilen Doğaltaş atıkları, betonun direncini oldukça artırmaktadır (Hebhoub vd., 2011). Doğaltaş atıkların bazı türlerine ait (traverten gibi) detaylı inceleme sonrası çimento ile bağlayıcılığın yüksek olduğu tespit edilmiştir (Çelik vd., 2015). Doğaltaş toz atıklarını (özellikle kireçtaşı ve mermer) yapısında barındıran betonlar geleneksel beton ile benzer aşınma direncini ve özellikleri taşımaktadır. Betonun içinde bulunan kuma ilave belirli miktarda granit tozu eklenirse betonun basma ve eğilme dayanım miktarı artmaktadır. Normal betonda kullanılan kumun yerine granit tozu eklenmesi sonrası üretilen betonun basma ve eğilme dayanımının olumlu sonuç verdiği deneyler sonucu da ortaya çıkmaktadır (Ghannam vd., 2016). Ayrıca karışık türden doğaltaş atık tozları içeren kendiliğinden yerleşen betonlar da çeşitleri açısından oldukça başarılı sonuçlar göstermektedir (Sadek vd., 2016). Bu tez kapsamında da beton karışımında bulunan çimento yerine Doğaltaş atığı kullanımı sonrası betona etkilerini inceleme imkânımız olacaktır.

2.4. Doğaltaş Atıklarının Geri Kazanım Yöntemleri Üzerine Yapılan Araştırma Örnekleri

Yapı sektöründe oluşan atık malzemelerin geri kazanımının önemine değinmek amacıyla yapılan bir araştırmada, atık malzemelerin yeniden kullanımı ve/veya geri dönüştürülmesi ile yapı malzemelerinin sürdürülebilirliğine sağlayacağı katkı üzerinde durulmuştur. Tasarım ve kullanım açısından, geri kazanılmış yapı malzemelerinin tercih edilebilirliği sorgulanmış ve değerlendirilmiştir. Geri kazanılmış yapı malzemelerinin kullanımının yaygınlaşması, kaynak korunumunun yanı sıra atıkların oluşturacağı çevresel ve ekonomik yükün hafifletilmesi açısından da olumlu katkılar sağlayacağı ortaya konmuştur (İpekçi vd., 2017).

Yapı sektörü üzerine yapılan bir araştırmada geri dönüşüm yapabilen malzemelerden bahsedilerek, atıklarının bir hammadde kaynağı olarak değerlendirilme şekillen anlatılmış ve dünyadaki uygulamalardan bahsedilmiştir. Bu

araştırma kapsamında bir binanın ya da yapının yıkılması gerektiği zaman, elde edilen eski beton, kırılarak beton karışımında agregaya yerine ya da yollarda dolgu malzemesi olarak yeniden kullanılabilirdiği belirtilmiştir. Çalışma kapsamında ülkemizde henüz eski betonun agregaya yerine kullanılmadığını fakat Amerika Birleşik Devletleri'nde her yıl 200 mil beton kaplamanın geri dönüşümü yapıldığı ve geri dönüştürülmüş beton agregaya olarak kullanılabilmesi yasal mevzuatla uygulamaya alındığı belirtilmiştir (Gürer vd., 2004).

Yapı sektöründe mermer tozunun geri kazanımı ile ilgili yapılan bir araştırmada, Levent Şirketler grubuna bağlı Stonite mermer fabrikasından çıkan mermer tozu atığı ile Levent Tuğla fabrikasında fırını ısıtmak için kullanılan kömürün atığı olan külün, Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti (KKTC) inşaat sektöründe kullanım olanağı araştırılmıştır. Çalışma kapsamında değişik oranlarda mermer tozu, çimento, kül ve kimyasal katkı malzemesi kullanılarak nihai ürünün yapı malzemesi olarak inşaat sektöründe kullanım olanağı araştırılmıştır. Mermer toz atığı kullanılarak hazırlanan kompozitlerin inşaat sektöründe tuğla, kiremit, parke, büz ve briket gibi yapı malzemesi üretiminde kullanılabileceği ortaya çıkmıştır. Araştırmada, hazırlanan çimento hamuru kompozitinin yapı malzemesi olarak kullanım uygunluğu yapılan fiziksel, mekanik ve dayanıklılık deneyleri ile belirlenmiştir. Yapılan çalışma da atık bir malzeme olan mermer tozu ve külün geri kazanılmasına olanak sağlanmış ve bu atıkların çevreye verdiği zararın da önüne geçilebileceği öngörülmüştür (Aydın ve Egemen, 2011).

Atık mermer tozunun inşaat sektöründeki kullanım alanları üzerine 2018 yılında yapılan bir başka araştırmada ise mermerin üretimi ve işleme tesislerinde işlenmesi sürecinde açığa çıkan mermer atıkları, belirli bir boyuta getirildikten sonra inşaat sektöründe farklı kullanım alanlarında değerlendirilebileceği üzerine durulmuştur. Bunlar beton ve asfalt karışımlarında agregaya, yol zemini ve baraj inşaatlarında dolgu malzemesi vb. yapımında kullanılabileceği ortaya konmuştur. Ayrıca mermerden üretim atığı olarak ortaya çıkan tozların kullanılabilirliği endüstriyel açıdan kazanç olduğu kadar çevresel açıdan da bir sorunun giderilmesi anlamını taşır. Seramik üretiminde %5–6 oranında mermer kullanılmaktadır. Çimento sanayinde bol miktarda CaCO_3 bileşimli işlenmemiş ürünler kullanılsa da, mermer sadece Beyaz Portland çimentosu imalatında kullanılmaktadır (Çitoğlu ve Bayraktar, 2018).

Yeterince farkında olmadığımız atıl durumlardaki kaynağımız olan Doğaltaş atıkları üzerine yapılan bir çalışmada mermer atıklarını 1-4 mm arası kırıldıktan sonra pigment dolgu malzemesi, çeşitli kimyasallar ve reçine ile karıştırıldıktan sonra mineral sıva yapımında kullanılabilir. Geometrik şekilli eşit ölçüdeki paledyen parça atıklar yer döşemesi olarak değerlendirilebilmektedir. Çeşitli renk, desen ve boyutlardaki atık parçalar küp veya prizma şekilli, çeşitli boyutlarda kesilip, bir motif eşliğinde hazırlanarak, istenilen mekâna uygulanır ve ortamın daha estetik bir görüntü kazanması sağlanabilir. Son yıllarda antik eserlere olan yoğun ilgi nedeniyle, antik bir görünüm elde edebilmek için 2 veya 3 cm kalınlığındaki renkli mermer parçaları küçük boyutlu kare veya dikdörtgen şeklinde kesilerek; metal kazanlarda kalburlama işlemine tabi tutulurlar. Böylece kayaçların hem kenar keskinlikleri giderilir hem de bunlara antik bir görünüm kazandırılmış olur. Değişik renklerden oluşan bu malzemeler, cilalı veya mat olarak çeşitli motiflerle değerlendirilir (Ersoy vd., 2015). Değişik şekil ve boyuttaki atık mermer parçaları uygun agrega boyutuna getirilerek asfalt betonu içerisinde kullanılmış atık mermerlerin asfalt yaşlanmasını büyük ölçüde geciktirdiğini göstermiştir. Eklenen mermer tozu asfalt çimentosunun viskozitesinin artmasını sağlayarak teker izi deformasyonlarının azalmasını sağladığı tesbit edilmiştir. Mermer pasalarını asfalt yapımında agrega olarak kullanmışlar sonuçlar agreganın fiziksel özelliklerinin istenen limitler içinde olduğunu ve potansiyel olarak kullanılabilirliğini göstermektedir. Parça atıkların yol temel tabakasında ve toz atıkların ise zemin toprağı içerisinde karıştırılarak stabilizasyonda kullanılabilirliği test edilmiş ve olumlu sonuçlar alınmıştır (Yıldız, 2008). Yüçetürk ve Bilgin (2009), mermer pasalarının yapay mermer üretimindeki kullanımına yönelik yapmış oldukları çalışmada, oluşturdukları yapay mermerin fiziko-mekanik özelliklerinin doğal mermerlerden daha iyi sonuç verdiğini göstermişlerdir. Bir başka çalışmada, traverten atıklarının volkanik tüf katkısıyla beyaz çimento ile karıştırılarak suni mermer üretiminde kullanılabilirliği araştırılmış ve sonuç olarak volkanik tüf katkısının olumsuz ancak traverten atıklarının olumlu sonuçlar verdiği görülmüştür (Yeşilkaya vd., 2010).

Çimento sanayinde katkılı portland çimentosu üretiminde katkı malzemesi olarak mermer atık tozlarının (veya parça mermer atıklarının öğütülerek toz haline getirilip) kullanımı mümkündür (Kavas vd., 2003). Toz mermer atıklarını refrakter

çimento üretiminde kalker kaynağı olarak kullanmış ve istenilen teknik özelliklerde çimento elde etmişlerdir (Yeşilkaya vd., 2010).

Mermer artık tozları içerdikleri CaO ve SiO₂ oranlarına göre sır hammaddesi olarak kullanılabilir. Sırda mermer artık tozu, camlaştırıcı etki yapmaktadır (Yeşilkaya vd., 2010).

Yapılan çalışmada, -100 µm (%90'ı 38 µm altı) tane boyutuna sahip mermer toz artıklarının endüstriyel hammadde olarak kağıt ve boya endüstrilerinde hammadde olarak kullanılabilirliği incelenmiştir. Uygun öğütme teknolojileri ile boyut küçültme işleminin ardından, kullanılabilirliği tespit edilmiştir (Sayın vd., 2013). Bir başka çalışmada, iri kristalli beyaz mermerlerden elde edilen ince boyutlu malzemenin su bazlı boya üretiminde dolgu malzemesi olarak kullanımı gerçekleştirilmiştir. Kalsitin boyada kullanılan en pahalı hammaddelerin başında gelen TiO₂ ile ikame olanakları araştırılmış, sonuç olarak kalsit katkısı ile beraber standart boyaya göre TiO₂ kullanımı %4 oranında azaltılmıştır (Karakaş ve Çelik, 2012).

Plastik imalinde genellikle dolgu maddesi kullanılır. Bu dolgu malzemelerinden mermer tozu, diğer dolgu maddeleriyle birlikte %30-40 oranında kullanılmaktadır. Dolayısıyla mermer atıklarının da bu şekilde kullanılabilme potansiyeli olduğu söylenebilir. Dolgu maddelerinin plastiklerde kullanım amacı, sertlik, elastiklik, mukavemet, büzülme ve iç gerilmeyi önleme, yüksek sıcaklığa karşı dayanım ve ucuz olmalarıdır (Yeşilkaya vd., 2010).

Mermer atık tozları ile kalsinasyon ürünü olarak kireç elde edilebilmektedir. Bu ürünler CaCO₃ miktarı yüksek atıklardan elde edilebilir. Bu toz atıklar %5'ten fazla MgO içerirse bunların kalsinasyon ürününe dolomitik kireç adı verilir (Yeşilkaya vd., 2010).

Yapılan çalışmalarda mermer atık tozlarının belirli bir oranda tuğla üretiminde katkı maddesi olarak kullanılabilirliği ve ürünün yeterli mukavemete sahip olduğu belirlenmiştir (Yeşilkaya vd., 2010).

Mermer artık tozunun hayvan yemi olarak Türk Standartlarında TS 860'a uygun olarak kullanılabilirliği belirtilmektedir. Bunun için mermer tozlarının en az %92 CaCO₃ içermesi gerekmektedir (Yeşilkaya vd., 2010).

Asidik özellikteki topraklarda yetiştirilen ağaç ve bitkilerden etkin ürün alabilmek için toprağın Ca ihtiyacının karşılanması gerekmektedir. Mermer toz

artıklarının burada kullanılması için, zirai standartlara bağlı olarak belirli bir tane boyutu ve en az %80 CaCO₃ içeriği gerekmektedir (Şahin, 1999).

Atık mermer tozu ile polimer esaslı zemin kaplama malzemeleri hazırlanmış ve üzerine çeşitli testler uygulanmıştır. Sonuç olarak atık mermer tozlarının zemin kaplama malzemesi içerisinde kullanılabileceği görülmüştür (Uygunoğlu vd., 2012). Hafif blok üretimi için ana hammadde mermer tozunu kullanmışlar ve hazırladıkları malzemelere yaptıkları testlerin olumlu sonuçlar verdiğini görülmüştür (Demir vd., 2012). Üretilen mermer tozu katkılı beton numuneler üzerinde basınç, ultra ses hızı ve su emme deneyleri yapılmıştır. Sonuçlar normal beton değerleriyle karşılaştırılmış, mermer tozunun belirli oranlarda karışıma katılması beton özelliklerine kısmen de olsa olumlu bir etki yapabileceğini göstermiştir (Ünal ve Kibici, 2001).

Derz dolgu malzemesi olarak mermer tozu kullanıldığında, CaCO₃ en az % 95, tane boyutu 250 mikrondan küçük olmalıdır. Mermer atıklarının tane boyutunun düşürülmesi ile derz dolgu maddesi olarak kullanımının mümkün olduğu tespit edilmiştir (Ceylan, 2000).

Mermer artıkları öğütülerek toz haline getirilerek balata dolgu malzemesi olarak kullanılmıştır sonuç olarak frenleme performansında olumlu sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir (Kılıç, 2010).

Kala ve Arivumangai vd. yapılan bir çalışmada; granit tozu beton harcına sırasıyla % 0, 25, 50, 75 ve 100 oranlarda karıştırılmıştır. Çalışmada agrega olarak nehir kumu % 0-100 oranlarında kullanılmış, çimento olarak da portland çimentosu sabit olarak % 72,5 oranında kullanılmıştır. Su/Çimento oranları ise 0,25, 0,30 ve 0,35 olarak kullanılmıştır. 15x15x15 cm'lik küp kalıplara basınç dayanım testi uygulanmıştır.

Granit tozu ile yapılan diğer bazı çalışmalara ait özet bilgi Tablo 2.4.'de gösterilmiştir.

Tablo 2.4. Beton Üretiminde Çimento Yerine Granit Tozu Kullanılan Örnek Çalışmalar

Referanslar	Granit Tozu Katkı Oranı (%)	Su/Çimento oranı (w/c) (%)	Basınç Dayanımı (MPa) (7 Günlük)	Basınç Dayanımı (MPa) (28 Günlük)
Kala,2013	0	0,25	57,52	69,42
	25	0,25	63,5	74
	50	0,25	59	72,24
	75	0,25	58	69,7
	100	0,25	56	68,5

Arivumangai vd.2014	0	0,25	-	35
	25	0,25	-	36
	50	0,25	-	34
Divakar vd.2012	0	0,6	37	
	5	0,6	31,5	
	15	0,6	40,17	
	25	0,6	39,17	
	35	0,6	45,17	
	50	0,6	38,5	
Azunna, vd. 2022	0	0,6		
	2,5	0,6		
	5	0,6	20-26	27,40-28,29
	7,5	0,6		
Williams vd. 2008	10	0,6		
	25	0,4	~30 (max)	

2.5. Çevre Dostu Beton

Çevre dostu beton, yukarıda bahsedilen aşamalarda da ifade edildiği gibi doğal kaynaklarımızın ticari ya da mimari estetiğe sahip olan ürünler olarak elde edilmesi için işlenmesi esnasında ortaya çıkan sanayi atıklarının çevremize olan olumsuz etkisini azaltmak için beton karışımında kullanılarak elde edilen beton, çevreci beton olarak isimlendirilmektedir. Bu tür betonlar yeşil beton olarak da tanımlanmaktadır (Verma vd., 2019). Çevre dostu betonun bileşiminde değerlendirilen atıkların sadece çevreye olan etkileri önem arz etmemektedir. Bunun yanında dayanımı, direnci, dayanıklılığı ve ticari olarak da değerli bir ürün elde edilmesi bakımından önem arz etmektedir. Beton karışımı içeriğinde bulunan ana ürünler olan çimento ve agrega ile bu Doğaltaş atıkları belirli oranda yer değiştirilerek değerlendirilmektedir (Hameed ve Sekar, 2009). Evrensel olarak yapılan bir araştırmaya göre yılda yaklaşık 10^9 metre küp beton elde edilmektedir. Betonun mukavemetini artıran asıl etken çimento kalitesidir. Beton üretim aşamasındayken birçok yönden değerlendirilmeli ve en ekonomik, en dayanımlı ve dayanıklı olmasının yanında çevreye etkisinin de minimum seviyede olmasına dikkat edilmelidir (Blaszczynski and Krol, 2015). Bundan dolayı üretilen betonun içeriğini belirlerken Doğaltaş atık malzemeleri değerlendirmek ekonomik olarak da ciddi katkılar sağlayacaktır (Gomez ve Sun, 2018). Çevre dostu betonun yaygın hale gelmesi için birçok alan ve kişiyi ilgilendiren konular bulunmaktadır. Bunlara örnek olarak ise şunlar verilebilir. Çevre dostu betonu büyük proje detaylarında değerlendirmek için uygun standartlar belirlenmeli, tanıtım ve bilgilendirme toplantıları veya reklamları daha fazla yapılmalı, beton üreticilerine çevre dostu beton hakkında daha detaylı ve sıklıkla eğitimler verilmeli en önemlisi ise toplumun geniş kitlelerine çevre dostu betonu tanıtmak için vatandaşları bilgilendirerek

teşvik etmek gerekmektedir. Çevre dostu betonun yaygınlaşması ve genelin tercih ettiği bir ürün olması için daha çok çalışmalar yapılmalıdır (Liew vd., 2017). Nüfus artışının her geçen yıl daha da arttığı bir ortamda insanlığın ihtiyaçları da aynı oranda artmaktadır. Bundan dolayı insanlar olarak bizler ihtiyaçlarımızı karşılayabilmek için doğal kaynaklarımızı daha dikkatli ve ekonomik kullanmak durumundayız. Doğal kaynaklarımızı kullanım esnasında bu hususlara dikkat etmezsek hem kaynaklarımızı bilinçsizce tüketmiş oluyoruz hem de kullanım sonrası ortaya çıkan atıkların çevreye ciddi olumsuz etkilerinden dolayı gelecek nesillere temiz bir çevre yerine heba edilmiş, zarar görmüş bir çevre bırakmış oluyoruz. Bundan dolayı bu çalışmaların asıl gayesi ise insan sağlığı, doğal kaynakların daha az tüketilmesi ve çevreye olan zararın minimum seviyeye indirilmesidir (Marinkovic vd., 2010). Bu tez kapsamında da doğaya salınan Doğaltaş atık parçalarını beton karşımı içerisinde bulunan çimento ile bir miktar değiştirerek değerlendirmesini konu edinmiştir.

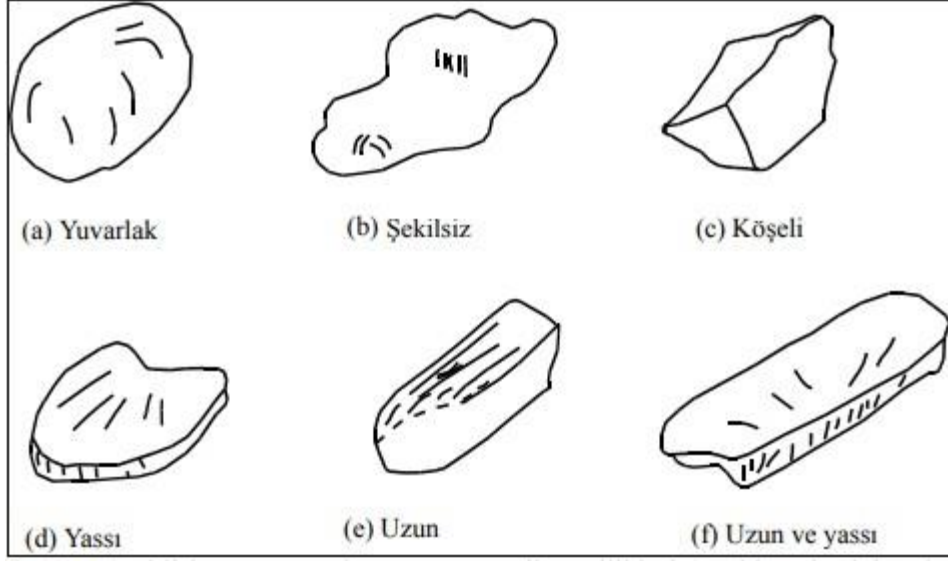
3. LABORATUVAR ÇALIŞMALARI

3.1. Beton Üretiminde Kullanılan Malzemeler

Beton, istenilen dayanıma ve şartlara bağlı olarak belirlenen oranlarda çimento, agrega (kum, kırma taş, çakıl), su ve katkı malzemelerinin homojen bir şekilde karıştırma işleminden sonra priz süresi tamamlanarak sertleşen inşaat sektöründe kullanılan bir yapısal üründür. Beton içeriğinde tam olarak agrega, çimento, mineral katkı, kimyasal katkı, hava ve su bulunmaktadır.

3.1.1. Agrega

Agrega, doğada hâlihazırda bulunan ya da taş ocaklarından farklı geometrik şekillerde elde edilen parçalanmış yapı malzemesidir. Agrega, beton üretiminde en çok kullanılan ve Doğaltaş atıklarına nazaran maliyeti çok daha fazla olan bir malzemedir. Daha fazla kullanılan agrega çeşitleri çakıl ve kumdur. Farklı ebatları bulunan agregalar iri ve ince olarak sınıflandırılmaktadır. Doğa da doğal olarak bulunan agregalar ise çakıldır. Çakıllar, konkasörlerle parçalara ayrılarak pürüzlü ve köşeli yüzey olarak elde edilir. Bu agregalara kırma taşı ya da mıcır da denilmektedir. İnce agregalar ise doğada doğal olarak bulunan kumun öğütülmesiyle elde edilir. Betonun karışımında kum ve çakıl oranı, agrega dane çapı granül metrisi ve agrega tanelerinin seçimi betonun tazeliği, dayanımı ve dayanıklılığı açısından çok önem arz etmektedir. Beton karışımında kullanılan agreganın uzun ve düz olması aderans açısından olumsuz etki gösterdiği için bunun yerine pürüzlü ve köşeli olan agregalar tercih edilmektedir. Agreganın pürüzlü ve köşeli olması çimento ve agrega arasındaki mekanik yapışma özelliğini artırdığı için betonun dayanım ve dayanıklılığını da artırmaktadır. Agrega dane çeşitleri Şekil 3.1.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Agregada Dane Şekilleri

Bu tez çalışmasında kullanılan agregalar standartlara uygun olarak kullanılmıştır. Samsun Canik ilçesi Kaleboğazı mahallesinde bulunan ocaktan elde edilen ve dane çap aralıkları 0-5 mm, 5-15 mm, 15-25 mm olan agregalar tercih edildi. Samsun Büyükşehir Belediyesi Yol, Yapım, Bakım ve Onarım Dairesi Başkanlığı tarafından işletilen taş ocakları ve beton santralleri ile Samsun ilinin tüm kırsal alt yapısı çalışmaları için kullanılan betonun standartlarına göre beton reçetesi belirlendi ve reçeteye uygun bir şekilde agregalar hazırlandı. Agregada çeşitleri aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 3.2. 0-5 mm Agregada (kum)



Şekil 3.3. 5-15 mm Agregat



Şekil 3.4. 15-25 mm Agregat

3.1.2. Çimento

Çimento, doğada doğal olarak bulunan kalker taşları ile kilin karıştırılmasından sonra yüksek sıcaklık ve basınçta ısıtıldıktan sonra öğütülmesi sonucu elde edilen hidrolik bir bağlayıcı olan inorganik bir toz maddedir. Bağlayıcı özelliğine sahip olmasından dolayı beton karışımında bulunan agregaların arasındaki boşluğu doldurarak birbirine tutunmalarını sağlar. Portland çimento, sülfata dayanıklı, cürufu

çimento olmak üzere çimento çeşitleri üç çeşittir. Günümüz yapı sektöründe en çok değerlendirilen çimento portland çimentodur. Portland çimentonun yapısında silisyum dioksit (SiO_2), kalsiyum oksit (CaO), Demir oksit (Fe_2O_3), alüminyum oksit (Al_2O_3) gibi oksitli bileşiklere sahip olması ve klinker, kalker ve kil gibi ana ürünlerine göre kendi aralarında farklı sınıflandırmalar olmaktadır. Bu sınıflandırma TS EN 197-1 'e göre, CEM I (PÇ), CEM II (PKÇ), CEM III (PYFCC), CEM IV (PuÇ) ve CEM V (KÇ) olarak sınıflandırılmaktadır. Bu çimento çeşitleri döner fırın içinde 1400 – 1500 °C sıcaklıkta parçalanması ile elde edilmektedir (Yeniboğalı ve Ertün, 2005).

Şekil 3.5.'de tez çalışmasında kullanılan Portland çimentsu CEM I 42.5 R tipi olup detayları dayanım özellikler Tablo 3.1.'de, fiziksel özellikler Tablo. 3.2.'de ve kimyasal özellikler Tablo 3.3.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.5. CEM I 42.5 R Tipi Çimento

Tablo 3.1. CEM I 42.5 R Tipi Çimentonun Dayanım Özellikleri

Gün	Dayanım (MP)	TS EN 197-1 Değerleri
2	28.7	≥ 20
7	44.4	-
28	52.9	$42.5 < X < 62.5$

Tablo 3.2. CEM I 42.5 R Tipi Çimentosunun Fiziksel Özellikleri

Bileşimin Özellikler	CEM I 42.5-R	TS EN 197-1 Değerleri
Özgül Ağırlık (g/cm ³)	3.650	-
K. Kaybı (%)	2.7	≤ 5
Ç.kalıntısı (%)	0.2	≤ 5
P. Başlangıcı (dk)	145	≥ 60
P. Sonu (dk)	235	-
Hacim Sabitliği (mm)	0.5	≤ 10
Serbest Kireç (%)	1.4	-
Eşdeğer Alkali (Na ₂ O+0,658K ₂ O)	1.01	-
Su İhtiyacı (%)	27.8	-

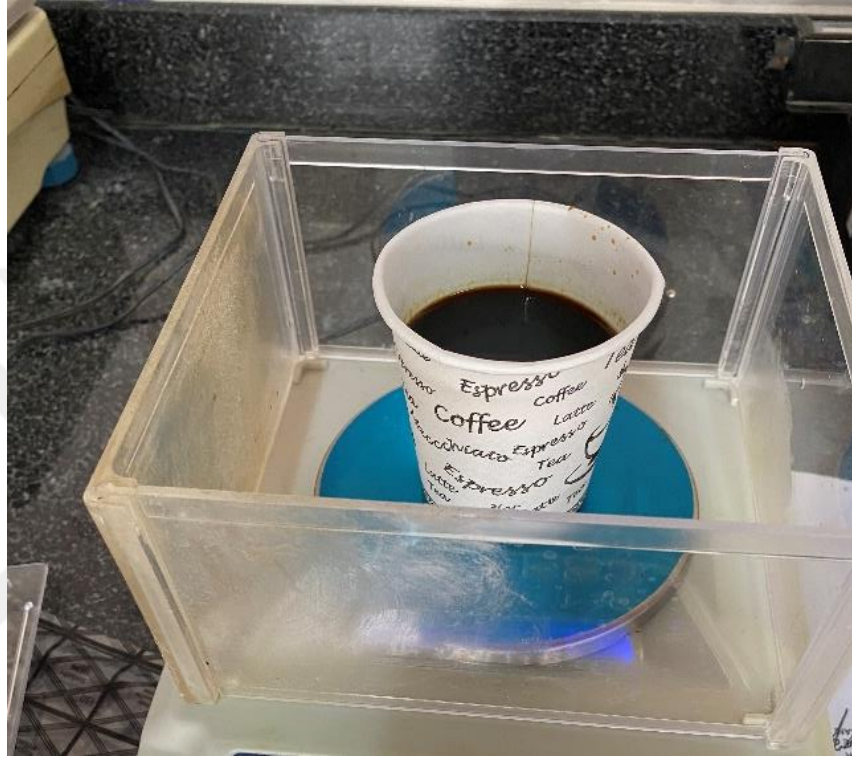
Tablo 3.3. CEM I 42.5 R Tipi Çimentosunun kimyasal Özellikleri

Bileşimin ismi	CEM I 42.5-R	TS EN 197-1 Değerleri
SO ₃ (%)	2.8	≤ 4
MgO (%)	1.1	-
CL (%)	0.009	≤ 0.1

3.1.3. Kimyasal Katkılar

Betonun birtakım özelliklerini değiştirmek için, karma uygulamasından sonra, çimentonun ağırlığı ölçüsünde daha az miktarda ilave edilen malzemelere kimyasal katkı denir. İlave edilecek kimyasal katkının seçiminde çok değişken etkenler bulunmaktadır. Genel itibariyle kimyasal katkı betona olumlu etki yapsa da reçetesi uygun şekilde ayarlanmamış beton karışımlarına herhangi bir etki edemez. Bu yüzden betonun reçetesini standartlara ve koşullara uygun şekilde belirlemek gerekmektedir. Ancak reçetesi iyi ayarlanmış beton için olmazsa olmaz derecede önemli bir bileşendir. Beton içeriğindeki su ihtiyacını minimuma indirerek, basınç, yarma ve eğilme dayanımında artmaya, durabilite ve geçirimsizlik özelliklerini iyileştirmeye, kuruyan betonun içinde bulunan çelik donatıların zamanla paslanmasını engellemeye, betonu uygulama esnasında rahat işlenmesini sağlamaya ve priz geciktirici olma özellikleri ile kimyasal katkı beton için çok farklı değişkenliklerde değerlendirilmektedir. Katkı maddesinin artırılması ile kimyasal maddenin betona etkisi arasında bir doğru orantı söz konusu değildir. Kimyasal katkı malzemesinin üretici firmaları farklı özellikteki katkı için farklı kimyasal katkı malzemesi tavsiye etmektedir. Her ne olursa olsun önerilen dozajlar çimentoya oranı %5 i geçemez.

TS EN 934-2 'ye göre elde edilen kimyasal katkı maddesi olan CHRYSO® Fluid GT – X su azaltıcı / akışkanlaştırıcı kimyasal katkı maddesi kullanılmıştır. Bu kimyasal katkının görseli Şekil 3.6.'da görülmektedir. Ayrıca kullanılan kimyasal katkı, en yüksek klorür muhtevası kütlece % 0,1'den ve en yüksek alkali muhtevası da kütlece %5'ten küçük olma özelliğindedir. Kimyasal katkının teknik özellikleri Tablo 3.4.'te gösterilmiştir.



Şekil 3.6. CHRYSO® Fluid GT – X Kimyasal Katkı

Tablo 3.4. Kimyasal Katkının Teknik Özellikleri

Görünüm	Sıvı
Renk	Kahverengi
Yoğunluk (gr/cm ³)	1.085+- 0.02
pH	5.0 +-1
Klorür İçeriği	< %0.1

3.1.4. Mineral Katkılar

Doğal ya da yapay halde bulunan puzolanik maddelerdir. Çimentonun elde edilmesinde kullanılmalarından dolayı doğal olarak betonun üretiminde de kullanılmış olmaktadır. Tek başlarına herhangi bir bağlayıcılıkları bulunmamaktadır. Ancak betonun içindeki Kalsiyum Hidroksit Ca(OH)₂ ile tepkimeye girerek bağlayıcılık

özelliği kazanan puzolanik maddelerdir (Aruntaş ve Tokyay, 1996). TS EN 197-1 2002 'ye göre puzolanik özelliğe sahip maddelerin tanımını yapmamız gerekirse alüminyum silikat, silis veya ikisinin birleşimi ile oluşan doğal malzemelerdir. Normal şartlar altında su ile birleştiğinde katı forma gelmemesine rağmen öğütölme işleminden sonra sulu bir ortamda Kalsiyum Hidroksit $Ca(OH)_2$ ile tepkimeye girerek dayanım kazanmaktadır. Puzolanik maddelerin esasını oksitli bileşikler oluşturmaktadır. Puzolanik maddeler doğal ve yapay olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadır. Bu sınıflandırma Tablo 3.5.'de gösterilmiştir.

Tablo 3.5. Puzolanik Malzemelerin Sınıflandırılması

Doğal Puzolanik Olanlar	Yapay Puzolanik Olanlar
Volkanik	Silis Dumanı
Traslar	Yüksek Fırın Cürufu
Ponza Taşı	Uçucu Kül
Şist	Pişirilmiş Kil
Opalin Silika	Pirinç Kabuđu Külü
Diatome Toprağı	Demir İçermeyen Cüruflar
Granit Tozu	-

Bu tez çalışmasında da mineral katkı olarak Doğaltaş atık tozu kullanılmıştır. Samsun Büyükşehir Belediyesi Doğaltaş Elemanları Üretim Tesisinde oluşan bu toz atık sulu formda olduğu için önce etüvde Şekil 3.7.'de olduğu gibi 110 °C' de 24 saat kurutulmuş ve sonrasında belirli miktarlarda beton karışımına eklenmiştir. Doğaltaş atık tozuna ait görüntü Şekil 3.8.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Doğaltaş Atık Tozunun Etüvde Kurultması



Şekil 3.8. Doğaltaş Atık Tozunun Kuru Formu

Ayrıca doğaltaş atığının teknik özellikleri de Tablo 3.6.'da gösterilmiştir.

Tablo 3.6. Doğaltaşın Teknik Özellikleri

Ana Bileşenler	Yüzdeler (%)
Piroksen Mineralleri	41
Plajiyoklaz Mineralleri	17
Biyotit Mineralleri	15
Olivin Mineralleri	14
Alkali Feldispat Mineralleri	8
Tali Bileşenler	
Opak Mineraller	5

Doğaltaş atığının fiziksel özellikleri de Tablo 3.7.'da gösterilmiştir.

Tablo 3.7. Doğaltaşın Fiziksel Özellikleri

Özellik	Birim	Derecesi
Sertlik (Mohs)		6
Basınç Direnci	MPa	181
Yoğunluk	g/cm ³	3,10
Birim Hacim Ağırlık	g/cm ³	3,10
Kaynar Suda Emme	Kütlece (%)	0,1
Kaynar Suda Emme	Hacimce (%)	0,4
Don Sonrası Basınç Direnci	MPa	211,4
Don Kaybı	(%)	0,07
Darbe Direnci	kgf*cm/cm ³	141
Eğilme Direnci	MPa	25,9
Görünür Porozite	(%)	0,3
Doluluk Oranı	(%)	100
Gözeneklilik Derecesi	(%)	0,0
Ortalama Aşınma Derecesi	cm ³ / 50 cm ²	10,6
Atmosfer Basıncında Su Emme	Kütlece (%)	0,1

3.1.5. Karışım Suyu

Beton üretiminde kullanılan suyun önemli fonksiyonları vardır. Bunlar çimento ile agrega arasında birleştirerek işlenebilir akışkan bir forma getirmek ve kimyasal katkı ile birlikte çimento ile tepkimeye girerek plastik haldeki malzemenin sertleşmesini sağlamaktır. Beton karışımında kullanılan suyun özelliği asidik olması gerekmektedir. Bu yüzden pH 7'nin altında olması gerekmektedir. Ayrıca beton karışımında kullanılan suyun organik madde içermemesi gerekmektedir.

Bu tez çalışmasında kullanılan su Samsun ilinin şebeke suyudur ve TS EN 1008 standartlarına uygun bir şekilde kullanılmıştır.

3.1.6. Hava

Betonda hava miktarının artışı sertleşmiş betonun dayanımı ve dayanıklılık özelliğini negatif yönde etkilediği için betonun içindeki hava boşluklarını en az seviyede tutulması istenir. Bu yüzden kimyasal katkı ile hava boşluğu oranı düşürülür. Beton hesabı yapılırken de %2 oranında hava varlığı kabul edilerek hesaplama yapılır.

3.2. Beton Reçetesi

Beton reçetesi ya da bir başka deyişle karışım hesabı beton içerisinde çimento, agrega, karışım suyu ve kimyasal madde ilavesinin hangi oranda ne kadar olacağını belirlediği hesaptır. İstenilen betonun üretimi için olmazsa olmaz bir adımdır.

3.3. Atık Doğaltaş Tozu Katkılı Üretilen Çevre Dostu Beton Karışım Hesabı

Bu tez çalışmasında da Samsun Büyükşehir Belediyesinin kırsal yollar için ürettiği C 30/37 betonu için belirlediği standartlar kullanılmıştır. Oransal olarak toplam hacmi 1000 dm³ olarak belirlenen beton reçetesi Tablo 3.8.'de gösterilmiştir.

Tablo 3.8. Standart C30/37 Beton Reçetesi

Eklene Madde	Birim	Miktar
0-5 Kum	Ağırlık (kg/m ³)	980
	Ağırlık (%)	39
5-15 Kum	Ağırlık (kg/m ³)	350
	Ağırlık (%)	13,93
15-25 Agrega	Ağırlık (kg/m ³)	700
	Ağırlık (%)	27,86
Çimento	Ağırlık (kg/m ³)	320
	Ağırlık (%)	12,73
Katkı	Ağırlık (kg/m ³)	3
	Ağırlık (%)	0,12
Su	Ağırlık (kg/m ³)	160
	Ağırlık (%)	6,37
Toplam	Ağırlık (kg/m ³)	2513
	Ağırlık (%)	100

Beton reçetesi TS 802'ye uygun olacak şekilde hesaplanmış ve ona uygun şekilde laboratuvar çalışmaları yapılmıştır. Kullanılan karışımda 0-5 kum, 5-15 kum ve 15-25 agrega olmak üzere 3 çeşit agrega tercih edilmiştir. Çimento dozu 320 kg/m³ olarak standart numune için seçilmiştir. Su/Çimento oranı ise 0,55 ve kimyasal katkı oranı ise kütlece %0,12 olarak belirlenmiştir. Kullanılan çimentonun yoğunluğu ile

Doğaltaş Atığının yoğunluğu hemen hemen aynı değere sahip olduğu için beton karışım hesabı içine doğaltaş atık tozunu çimento yerine belli oranda ilave ederek ve çimentodan eksilterek hesaplama yapılmıştır. Böylece ortaya çıkan hesaba ait tablolar aşağıda gösterilmiştir.

Tablo 3.9. ÖN-1 Numune Beton Hesapları

Eklene Madde	Birim	Miktar
0-5 Kum	Ağırlık (kg/m ³)	980
	Ağırlık (%)	38,75
5-15 Kum	Ağırlık (kg/m ³)	350
	Ağırlık (%)	13,84
15-25 Agrega	Ağırlık (kg/m ³)	700
	Ağırlık (%)	27,68
Çimento	Ağırlık (kg/m ³)	320
	Ağırlık (%)	12,65
Katkı	Ağırlık (kg/m ³)	4
	Ağırlık (%)	0,16
Su	Ağırlık (kg/m ³)	175
	Ağırlık (%)	6,92
Atık Granit Tozu	Ağırlık (kg/m ³)	0
	Ağırlık (%)	0
Toplam	Ağırlık (kg/m ³)	2529
	Ağırlık (%)	100

Tablo 3.10. ÖN-2 Numune Beton Hesapları

Eklene Madde	Birim	Miktar
0-5 Kum	Ağırlık (kg/m ³)	980
	Ağırlık (%)	38,75
5-15 Kum	Ağırlık (kg/m ³)	350
	Ağırlık (%)	13,84
15-25 Agrega	Ağırlık (kg/m ³)	700
	Ağırlık (%)	27,68
Çimento	Ağırlık (kg/m ³)	310
	Ağırlık (%)	12,26
Katkı	Ağırlık (kg/m ³)	4
	Ağırlık (%)	0,16
Su	Ağırlık (kg/m ³)	175
	Ağırlık (%)	6,92
Atık Granit Tozu	Ağırlık (kg/m ³)	10
	Ağırlık (%)	0,40
Toplam	Ağırlık (kg/m ³)	2529
	Ağırlık (%)	100

Tablo 3.11. ÖN-3 Numune Beton Hesapları

Eklene Madde	Birim	Miktar
0-5 Kum	Ağırlık (kg/m ³)	980
	Ağırlık (%)	38,75
5-15 Kum	Ağırlık (kg/m ³)	350
	Ağırlık (%)	13,84
15-25 Agrega	Ağırlık (kg/m ³)	700
	Ağırlık (%)	27,68
Çimento	Ağırlık (kg/m ³)	300
	Ağırlık (%)	11,86
Katkı	Ağırlık (kg/m ³)	4
	Ağırlık (%)	0,16
Su	Ağırlık (kg/m ³)	175
	Ağırlık (%)	6,92
Atık Granit Tozu	Ağırlık (kg/m ³)	20
	Ağırlık (%)	0,79
Toplam	Ağırlık (kg/m ³)	2529
	Ağırlık (%)	100

Tablo 3.12. ÖN-4 Numune Beton Hesapları

Eklene Madde	Birim	Miktar
0-5 Kum	Ağırlık (kg/m ³)	980
	Ağırlık (%)	38,75
5-15 Kum	Ağırlık (kg/m ³)	350
	Ağırlık (%)	13,84
15-25 Agrega	Ağırlık (kg/m ³)	700
	Ağırlık (%)	27,68
Çimento	Ağırlık (kg/m ³)	290
	Ağırlık (%)	11,47
Katkı	Ağırlık (kg/m ³)	4
	Ağırlık (%)	0,16
Su	Ağırlık (kg/m ³)	175
	Ağırlık (%)	6,92
Atık Granit Tozu	Ağırlık (kg/m ³)	30
	Ağırlık (%)	1,19
Toplam	Ağırlık (kg/m ³)	2529
	Ağırlık (%)	100

Tablo 3.13. ÖN-5 Numune Beton Hesapları

Eklene Madde	Birim	Miktar
0-5 Kum	Ağırlık (kg/m ³)	980
	Ağırlık (%)	38,75
5-15 Kum	Ağırlık (kg/m ³)	350
	Ağırlık (%)	13,84
15-25 Agrega	Ağırlık (kg/m ³)	700

	Ağırlık (%)	27,68
Çimento	Ağırlık (kg/m ³)	280
	Ağırlık (%)	11,07
Katkı	Ağırlık (kg/m ³)	4
	Ağırlık (%)	0,16
Su	Ağırlık (kg/m ³)	175
	Ağırlık (%)	6,92
Atık Granit Tozu	Ağırlık (kg/m ³)	40
	Ağırlık (%)	1,58
Toplam	Ağırlık (kg/m ³)	2529
	Ağırlık (%)	100

3.4. Laboratuvarda Yapılan Deney Yöntemleri ve Sonuçları

Üretilen betonun istenilen özelliklerde, dayanımı ve dayanıklılık yönünden incelenmesi açısından belli başlı testlere tabi tutulması gerekmektedir. Bu testler sırasıyla tez çalışması kapsamında üretilen betona uygulanmış ve sonuçları analiz edilmiştir.

3.4.1. Taze Betonda Yapılan Testler ve Sonuçları

Taze beton için yapılan testler betonun uygulama esnasında daha rahat ve en uygun şekilde işlenebilmesi için yapılan testlerdir.

3.4.1.1. Çökme (Slump) Testi

Çökme (Slump) testi, taze beton için yapılan en belirgin testlerden bir tanesidir. Betonun oluşturan çimento ve agreganın katkı malzemesi ve su ile oluşan plastik formu, şekil verebilme ve işlenebilme özellikleri bakımından en uygun zamanıdır. Fakat çimento ile su zamanla reaksiyona girer ve beton sertleşmeye başlar. Betonun bu kıvam sınıfları belirli aralıklara ve istenilen uygulama alanlarına göre seçeneklere ayrılmıştır. Bu aşamadan sonra da betona şekil vermek ve betonu işlemek oldukça güçtür. Bu yüzden beton taze iken ilave katkı ile birlikte priz geciktirilir ve işleme süresi daha uzun tutulmuş olur. TS EN 206-1 'e göre taze betonun kıvam sınıfları Tablo 3.14.'te gösterilmiştir.

Tablo 3.14. Taze betonun kıvam sınıfları (TS EN 206-1, 2002)

Kıvam Sınıfları	Çökme Değerleri
S1	$10 \leq \text{çökme} < 40$
S2	$50 \leq \text{çökme} < 90$
S3	$100 \leq \text{çökme} < 150$
S4	$160 \leq \text{çökme} < 210$
S5	$220 \leq \text{çökme}$

Deneyin yapılışı için gerekli malzemeler, çökme hunisi, metal tepsi, şişleme çubuğu, mala, metre, kürek, başlık ve tokmaktır. Bu malzemeler Şekil 3.11.'de gösterilmiştir. Çökme deneyinin yapılışı sırasıyla ilk başta beton ile temas edecek çökme hunisi, metal tepsi, şişleme çubuğu, mala, başlık ve beton numune kaplarını normal yağ ile yağlama işlemi yapılması gerekmektedir. Daha sonra çökme hunisi metal tepsi üzerine konulur ve taze betonun dökümü esnasında çökme hunisinin tabanında bulunan parçaya basarak çökme hunisi sabitlenir. Bu uygulama Şekil 3.9.'da gösterilmiştir.

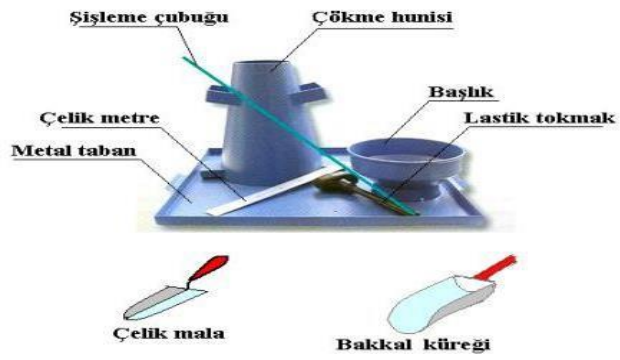


Şekil 3.9. Çökme (Slump) Hunisi Sabitleme

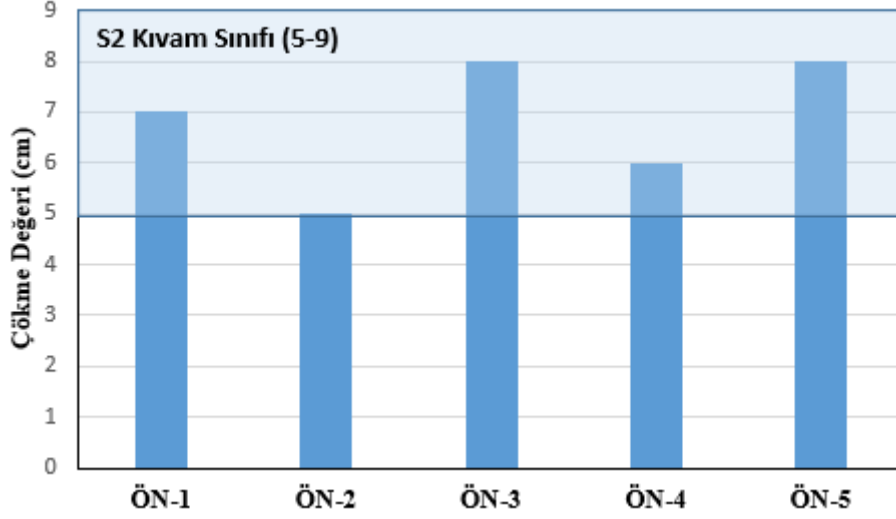
Çökme hunisine taze betonun yükleme işlemi üç tabaka olacak şekilde yapılmaktadır. Her tabaka yükleme işlemi sonrası şişleme çubuğu ile 25 defa dikine şişleme işlemi yapılmaktadır. Bir sonraki tabaka yüklemesi sonrası yapılan şişleme işlemi de yüzeye yakın noktaya kadar yapılması gerekmektedir. Bu şekilde çökme hunisi doldurulur ve şişleme uygulamaları tamamlanır. Doldurma uygulamasından sonra çökme hunisinin üstü mala ile düzeltilir. Düzeltme işleminden sonra çökme hunisi tutamaçlarından tutularak sabit hızla hafifçe kaldırılmaktadır. Bu işlem takribi 5-10 sn arası sürmesi gerekmektedir. İşlem sonrası çökme değeri metre ile ölçülmüştür. Bu işlem tüm denemeler için tekrarlanmıştır. Çökme değerinin ölçümü Şekil 3.10.'da gösterilmiştir. Ayrıca 5 farklı şekilde üretilen betonun ayrı ayrı çökme (slump) test sonuçları Şekil 3.12.'de gösterilmiştir. Tüm numuneler S2 kıvam sınıfına girmektedir.



Şekil 3.10. Çökme (Slump) Değer Ölçümü



Şekil 3.11. Çökme (Slump) Testi Ekipmanları



Şekil 3.12 Çökme (Slump) Testi Sonuçları

3.4.1.2. Yaş Birim Hacim Ağırlık

Taze betonun yaş birim hacim ağırlığı, birim hacimde yerleşen betonun ağırlığı olarak ifade edilebilir. Genelde birimi kg/m^3 olarak ifade edilir. Üretilen betonun birim hacim ağırlıkları beton karışımında bulunan malzemelerin özelliklerine, karışımın hesabına ve dökme sırasındaki sıkıştırma işlemine göre değişiklik gösterebilir.

Bu tez çalışmasında da her aşama için elde edilen farklı betonların farklı farklı 6'şar numuneleri için hassas tartıda yapılan ölçüm sonucu numune kaplarının daraları düşülerek belirlenen ağırlıklarını yaş birim hacim ağırlığı olarak tespit edilmiştir. Numune kaplarının şekilleri Şekil 3.13.'de gösterilmektedir. Tartı ile ölçüm işlemi Şekil 3.14.'te gösterilmektedir. Numunelerin yaş birim hacim ağırlıkları da Tablo 3.15.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.13. Numune Kapları



Şekil 3.14. Yaş Birim Hacim Ağırlığı Ölçüm İşlemi

Tablo 3.15. Numunelerin Yaş Birim Hacim Ağırlıkları

Numune	Yaş Birim Hacim Ağırlığı (g/m ³)	Numune	Yaş Birim Hacim Ağırlığı (g/m ³)
ÖN-1A	8639,5	ÖN-4A	8610
ÖN-1B	8590,5	ÖN-4B	8569
ÖN-1C	8631	ÖN-4C	8602
ÖN-1D	8656	ÖN-4D	8587
ÖN-1E	8650	ÖN-4E	8601

ÖN-1F	8590,5	ÖN-4F	8637
ÖN-2A	8699	ÖN-5A	8584,5
ÖN-2B	8644	ÖN-5B	8618
ÖN-2C	8620,5	ÖN-5C	8603,5
ÖN-2D	8634	ÖN-5D	8561,5
ÖN-2E	8656	ÖN-5E	8626
ÖN-2F	8669,5	ÖN-5F	8616
ÖN-3A	8598		
ÖN-3B	8573,5		
ÖN-3C	8590,5		
ÖN-3D	8606,5		
ÖN-3E	8645,5		
ÖN-3F	8623		

3.4.2. Sertleşmiş Betonda Yapılan Testler ve Sonuçları

3.4.2.1. Kuru Birim Hacim Ağırlığı

Betonun kuru birim hacim ağırlığı da birim hacime yerleşen betonun ağırlığıdır. Genelde birimi Genelde birimi kg/m^3 olarak ifade edilir. Üretilen betonun birim hacim ağırlıkları beton karışımında bulunan malzemelerin özelliklerine, karışımın hesabına ve dökme sırasındaki sıkıştırma işlemine göre değişiklik gösterebilir.

Bu tez çalışmasında da her aşama için elde edilen farklı betonların 7 gün veya 28 gün sonrası işlemler öncesi farklı farklı 6'şar numuneleri için hassas tartıda yapılan ölçüm sonucu belirlenen ağırlıklarını kuru birim hacim ağırlığı olarak tespit edilmiştir. Numuneleri kuru birim hacim ağırlıkları da Tablo 3.16.'de gösterilmiştir.

Tablo 3.16. Numunelerin Kuru Birim Hacim Ağırlığı

Numune	Kuru Birim Hacim Ağırlığı (g/m^3)	Numune	Kuru Birim Hacim Ağırlığı (g/m^3)
ÖN-1A	8615	ÖN-4A	8590
ÖN-1B	8615	ÖN-4B	8550
ÖN-1C	8555	ÖN-4C	8570
ÖN-1D	8640	ÖN-4D	8615
ÖN-1E	8600	ÖN-4E	8625
ÖN-1F	8635	ÖN-4F	8665
ÖN-2A	8620	ÖN-5A	8540
ÖN-2B	8625	ÖN-5B	8580
ÖN-2C	8655	ÖN-5C	8565
ÖN-2D	8715	ÖN-5D	8580
ÖN-2E	8656	ÖN-5E	8640
ÖN-2F	8640	ÖN-5F	8625

ÖN-3A	8580
ÖN-3B	8550
ÖN-3C	8560
ÖN-3D	8625
ÖN-3E	8660
ÖN-3F	8645

3.4.2.2. Kürleme Metodu

Betonun kalitesini artırmak ve daha erken vakitlerde dayanımlı bir beton elde edilmesi için, üretilen betonun döküm işleminden sonra çimento ile suyun tepkimeye girmesi sonucu uygun şartlar altında bakım işlemlerinin yapılması işlemine betonun kürlemesi denir. Beton kürlemesi için istenilen cazip koşulların sağlanmasının yanında yeterli miktarda suyun da bulunması gerekmektedir. TS EN 12390-2 standartlarına göre en uygun kürleme ortamı, kirece doymuş su bulunan ve koşul imkânlarında sıcaklığın (20oC + 2oC) derece olmalıdır.

Bu tez çalışmasında da kürleme işlemi TS EN 12390-2 standardına göre yapılmıştır. Numune kaplarına dökülen betonu 24 saat sonra numune kaplarından çıkarılarak kirece doymuş ve sıcaklığı 20oC olan su dolu havuza kürleme işlemi için bırakılmıştır. Beton kürleme görüntüsü Şekil 3.14.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.15 Beton Kürleme Metodu Görüntüsü

3.4.2.3. Basınç Deneyi

Betonun kalitesi için kullanılan malzemelerin veya beton karışımı ne kadar önemli ise basınç deneyi de o derece önemlidir. Basınç deneyi ile betonun, kılcallık, yarma, durabilite, çekme ve dış faktörlere karşı dayanıklılık özellikleri hakkında da yardımcı olabilecek bilgiler vermektedir. Betonun basınç dayanımı, düşey ve yatay

yükler altında kırılmadan gösterdiği dirence denir. Betonun mekanik özellikleri açısından en önemli test basınç deneyidir. Beton sadece basınca karşı çalıştığı için çekmeye karşı işlev gören ise beton içerisindeki çelik donatılardır. Basınç dayanımı yüksek olan betonların geçirimsizlik ve durabilite özellikleri daha yüksek, dış etkenlere karşı daha dayanıklı ve aşınma olayına karşı daha dirençlidir. Bu nedenle betonun kalitesine doğrudan etkili bir durumdur. Betonun basınç etkisindeki davranışının belirlenmesi için malzemenin gerilme-birim şekil değiştirme ($f_c - \epsilon_c$) özellikleri önem arz etmektedir. Bu özellikler eğriler şeklinde standart beton numunelerinin aksel basınç altındaki testler ile elde edilmektedir (Ersoy, 1985). TS EN 206-1 standart beton sınıfları ve dayanımları Tablo 3.17.'de gösterilmiştir.

Tablo 3.17. TS EN 206-1 Standart Beton Sınıfları ve Dayanımları

Basınç Dayanım	Karakteristik Silindir	Karakteristik Küp
C8/10	8	10
C12/15	12	15
C16/20	16	20
C20/25	20	25
C25/30	25	30
C30/37	30	37
C35/45	35	45
C40/50	40	50

Bu tez çalışmasında deney için hazırlanan numune kapları 150x150x150 mm küp numunelerdir. Her seri için 6'şar numune olmak üzere toplamda 30 adet numune üzerinden testler yapılmıştır. Her seriden üç numunenin 7 günlük basınç dayanım değeri, diğer üç numune için ise 28 günlük basınç dayanım değerleri ayrı ayrı ölçülmüştür. Alınan sonuçlarda da görüleceği üzere Doğaltaş atık tozu eklenerek hazırlanan betonun basınç dayanım değerleri oldukça yüksek çıkmıştır. Elde edilen sonuçlar numunelerin ortalama değerlerine göre kaydedilmektedir. Elde edilen sonuçlar Tablo 3.18.'de ve Şekil 3.16.'da gösterilmiştir.

Çimentonun küçük miktarlarda granitle yer değiştirmesi neticesinde karışımdaki çimento partikülleri daha iyi reaksiyona girer ve betonun mukavemetinde ve diğer özelliklerinde iyileştirme meydana getirir. Standartlara uygun olarak betonda istenen basınç dayanım değerinin 37 MPa olması istenir (TS EN 206-1). Daha fazla kütleme neticesinde 28 gündeki mukavemet derecesinin 7 günden daha fazla olduğu görülmektedir. Granit tozu kullanılan betonlarda donatının yüzey alkalinitesinin arttığı ve bunun inşaat demirinin uzun süreli korozyon direncine yardımcı olduğu

düşünülmektedir (Jain vd., 2021). Granit tozu hem su gereksinimini arttırarak betonun sertleşmesini sağlar hem de fiziksel olarak mikro boşluklara hareket ederek çimento pastasının daha iyi bir ara yüzeye sahip olmasını sağlamaktadır (Jain vd., 2021). Bu nedenle granit tozu oranı arttırıldığında daha fazla basınç dayanımı sağlanır (ÖN-2 ve ÖN-3). Ancak granit tozu oranı daha fazla olduğunda (ÖN-4 ve Ön-5), betonun işlenebilirliği azalır ki, bunu korumak için ya w/c oranı arttırılır veya süper akışkan katkı maddesini daha fazla ilave ederek denge sağlanmaya çalışılır. w/c oranının arttırılması ile çatlakların ilerlemesini destekleyen agrega-çimento hamuru geçiş bölgesinin yapısal gözeneklerinde artış olmaktadır. Bu durumda basınç dayanım miktarı da azalmaktadır. Buna göre uygun değer granit tozu oranı hem 7 gün hem de 28 gün için % 0,40 olarak belirlenmiştir.

Tablo 3.18. Beton Numunelerinin Basınç Dayanım Sonuçları

Numune	Granit Tozu Miktarı (%)	Basınç Dayanımı (7 Gün) (Mpa)					Basınç Dayanımı (28 Gün) (Mpa)				
		1	2	3	Ort.	Std. Sap.	1	2	3	Ort.	Std. Sap.
ÖN-1	0	51,5	51,1	52,6	51,73	0,63	68,8	67,2	66,6	67,53	0,93
ÖN-2	0,40	52,6	67,2	66,6	62,13	6,75	68,0	66,4	68,1	67,50	0,78
ÖN-3	0,79	47,6	47,2	48,8	47,87	0,68	64,9	64,8	64,5	64,73	0,17
ÖN-4	1,19	47,0	46,1	45,4	46,17	0,65	62,1	60,8	60,9	61,27	0,59
ÖN-5	1,58	43,0	43,8	45,3	44,03	0,95	58,9	60,3	59,0	59,40	0,64



Şekil 3.16 Beton Numunelerinin Basınç Dayanım Sonuçları

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Granit tozunun beton içinde kullanılarak geri kazanımı yapılan tez çalışmasında; standartlarla istenilen basınç dayanımı değerlerinin üzerinde sonuçlar elde edilmiştir.

Toz haline getirilen granit tozunun % 0 – 1,58 oranlarında beton harcına eklenmesi neticesinde; agrega ve su miktarları sabit tutulmuş ve sadece granit tozu ve çimento oranları değiştirilmiştir. Granit tozu % olarak 0, 0.40, 0.79, 1.19 ve 1.58, çimento % olarak 12.65, 12.26, 11.86, 11.47 ve 11.07 oranlarında değiştirilmiştir.

Yapılan çökme deneylerinde tüm örneklerde S2 sınıfında kıvam sınıfı görülmüştür ve standartlara uygun olduğu kabul edilmiştir.

Basınç dayanım test sonuçlarına göre, granit tozu ilavesinde 44,03 ile 67,50 MPa arasında dayanım sonuçları bulunmuştur. Bu değerler standardın istediği 37 MPa ın üstünde kabul edilebilir değerlerdir.

Örnekler içerisinde optimum karışım oranının % 0,40 granit tozu ve % 12,26 çimento ile en yüksek basınç dayanım değerleri olan 62,13 MPa (7 günlük) ve 67,50 MPa belirlenmiştir.

Sonuç olarak; çimentonun yoğunluğu ile Doğaltaş atığının yoğunluğu birbirine yakın olduğu için çimento maliyetini azaltma noktasında atık Doğaltaş tozunu kullanmanın uygun olacağı düşünülmektedir.

Fayda/maliyet analizlerinin detaylı yapılması durumunda doğaltaş, granit tozu gibi alternatif atıkların betonda kullanılması döngüsel ekonomi ve atık yönetiminde önemli bir örnek teşkil etmektedir.

KAYNAKÇA

- Akbulut H., Gürer C., (2003). “*Mermer Atıklarının Çevresel etkileri ve Yol Katmanlarında Kullanarak Faydalanma ve Atık Azaltma İmkanları*”. Türkiye IV. Mermer Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 18-19 Aralık 2003; s.371-378.
- Akbulut H., Gürer C., (2006). “*Atık Mermerlerin Asfalt Kaplamalarda Agregası Olarak Değerlendirilmesi*”. İMO Teknik Dergi 261, 3943-3960.
- Akbulut H., İçağa Y., Gürer C., (2003). “*Atık agregaların asfalt yol kaplamalarında tekrar kullanım imkanları ve CEN standartları*”. III. Ulusal Kırmataş Sempozyumu, 3-4 Aralık 2003, 271-276.
- Akman S., “*Beton Teknolojisine Giriş*”. İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, Yapı Malzemeleri, İstanbul.
- Arivumangai A., Felixkala T., (2014). “*Strength and durability properties of granite powder concrete.*” Journal of Civil Engineering Research, 4(2A), 1-6.
- Arsoy Z., Ersoy B., Sert M., Çiftçi H., Çelik M.Y., Evcin A., Yentürk F., (2018). “*Afyonkarahisar Organize Sanayii Bölgesi Mermer Atıklarının Beton Agregası Olarak Dayanım Özelliklerinin Belirlenmesi*”. I. International Engineering and Technology Symposium, 1020-1026.
- Aruntaş H.Y. ve Tokyay M., (1996). “*Katkılı Çimento Üretimi Diatomitin Puzolanik Malzeme Olarak Kullanılabilirliği*”. Çimento ve Beton Dünyası Dergisi, 1, 4, 33-41.
- Aydın E., Egemen M., (2011). “*Mermer Toz Atığının İnşaat Sektöründe Kullanımı.*” Uluslararası Kıbrıs Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Lefkoşa, Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti.
- Aydın G., Karakurt I., Hamzaçebi C., (2015). “*Performance Prediction Of Diamond Sawblades Using Artificial Neural Network and Regression Analysis*”. The Arabian Journal for Science and Engineering 40, 2003-2012.
- Aydın G., (2014). “*Recycling Of Abrasives In Abrasive Water Jet Cutting With Different Types Of Granite*”. Arabian Journal of Geosciences 7 (10), 4425–4435.
- Aydın G., (2015). “*Performance Of Recycling Abrasives In Rock Cutting By Abrasive Waterjet*”. Journal of Central South University 22 (3), 1055-1061.
- Aydın G., Karakurt I., Aydın K., (2013c). “*Investigation Of The Surface Roughness Of Rocks Sawn By Diamond Sawblades*”. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences 61, 171-182.
- Aydın G., Karakurt İ., Aydın K., (2013d). “*Development Of Predictive Models For Specific Energy Of Circular Diamond Sawblades In Sawing Of Granitic Rocks*”. Rock Mechanics and Rock Engineering 46 (4), 767-783.
- Aydın G., Kaya S., Karakurt I., (2017). “*Utilization Of Solid-Cutting Waste Of Granite As An Alternative Abrasive In Abrasive Waterjet Cutting Of Marble*”. Journal of Cleaner Production 159, 241-247.
- Azizoğlu M.S., (2005). “*Çukurova Bölgesindeki Mermer Ocaklarının Pazar Durumu ve Ekonomik Açısından Değerlendirilmesi*”. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 114 sayfa.
- Baradan B., Yazıcı H., Ün H., (2010). “*Beton ve Betonarme Yapılarda Kalıcılık (Durabilite)*”. Türkiye Hazır Beton. Birliği Yayınları, İstanbul.
- Bekem İ., Gültekin A. B., Dikmen Ç. B. (2009). “*Yapı Ürünlerinin “Hizmet Ömrü” Açısından İncelenmesi: Betonarme Örneği*”. 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, 2155-2160 s.

- Bentz D.P. (2008). "A Review of Early-Age Properties of Cement-Based Materials". Cement and Concrete Research, 38 (2): 196-204.
- Blaszczynski T., Krol M., (2015). "Usage of Green Concrete Technology in Civil Engineering,Procedia Engineering". Vol. 122, 296-301. doi:10.1016/j.proeng.2015.10.039
- Brueckner R., (2007). "Accelerating the Thaumasite Form of Sulfate Attack and An Investigation Of Its Effects On Skin Friction". Ph.D. Thesis, Birmingham University.
- Büyüksağış İ.S., Gürcan S., (2005). "ASTM ve TSE Doğal Taş standartlarının Karşılaştırılması". Madencilik 44 (1), 33-41.
- Çavuş U.Ş., (2015). "Mermer Parça Atıklarının Taşkın Koruma ve Akarsu Yatakları Islah Yapılarında Kullanımı". Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Dergisi 15, 19-28.
- Celep O., Aydın G., Karakurt İ., (2013). "Diamond Recovery From Waste Sawblades: A Preliminary Investigation". Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers", Part B: Journal of Engineering Manufacture 227, 417-421.
- Çelik M.Y., (2003). "Dekoratif Doğal Yapı Taşlarının Kullanım Alanları ve Çeşitleri". Madencilik, 42(1), 3-15.
- Çelik S.B., Çobanoğlu G., Çam O., Etiz H., Kurşun M., (2015). "Traverten Ocak Artıklarının Alternatif Beton Agregası Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması". MÜHJEO'2015: Ulusal Mühendislik Jeolojisi Sempozyumu, 3-5 Eylül 2015, Trabzon, 335-342.
- Çetin T., (2003). "Doğal Ortam-Ekonomik Faaliyet İlişisine Bir Örnek: Kozak Yöresi (Bergama)". Gazi Üniversitesi Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi, 23(1), 23-46.
- Ceylan H., (2000). "Mermer Fabrikalarındaki Mermer Toz Atıklarının Ekonomik Olarak değerlendirilmesi". Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, 53 sayfa.
- Ceylan H., Mança S., (2013). "Mermer Parça Atıklarının Beton Agregası Olarak Değerlendirilmesi". Süleyman Demirel Üniversitesi Teknik Bilimler Dergisi 3(2), 21-25.
- Çitoğlu S. G., Bayraktar O. Y., (2018). "Atık Mermer Tozu ve İnşaat Sektöründeki Kullanımı İle İlgili Çalışmalar". Winter 2nd International Symposium on Innovative Approaches in Scientific Studies. Samsun, Turkey.
- Demir, D. (2009). "Mermer Tozunun Kullanım Alanları", bk.aku.edu.tr.
- Dhanapandian S., Gnanavel B., Ramkumar T., (2009). "Utilization Of Granite and Marble Sawing Powder Wastes As Brick Materials". Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences" 4(2), 147-160.
- Divakar Y., Manjunath.S and Aswath M.U., (2012)"Experimental Investigation on Behavior of Concrete with the Use of Granite Fines". International Journal of Advanced Engineering Research and Studies, Vol. I, No. IV, 84-87.
- Duman E., (2015). "Taş Kağıt Türünün Basılabilirlik Parametrelerinin Belirlenmesi". Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 104 sayfa.
- Erdoğan T.Y., (2010)." Beton". ODTÜ Yayıncılık, Ankara.
- Ergezer F., (2018). "Sıcak Çermik Bölgesi (Sivas) Traverten Atıklarının Yol Temel ve Alt Temel Tabakalarında Kullanılabilirliğinin Araştırılması". Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 22(Özel Sayı), 181-188.

- Ersoy B., Sayın Z. E.B., Arsoy Z., (2015). Sayın Ü. “*Yeterince Farkında Olmadığımız Atıl Kaynağımız: Doğlataş Ocak ve Fabrika Atıkları.*” Afyon Kocatepe Üniversitesi, Müh. Fak., Maden Müh. Böl., Afyonkarahisar, Türkiye.
- Ersoy M., (2010). “*Mermer Ocaklarında Delme Çatlatma Yönteminde Üretim Planlaması ve Hesap Çizelgesi Programında Uygulanması*”. TÜBAV Bilim Dergisi 3(1), 23-34.
- Ersoy U., (1985). . “*Betonarme - Temel İlkeler ve Taşıma Gücü Hesabı*”, Evrim Yayınevi, İstanbul, 18- 40.
- Farrelly L., (2011) “*Mimarlığın Temelleri (Çev. Neslihan Şık)*”. Literatür Yayınları, Akademik Temeller Dizisi 01, İstanbul, 2011.
- Fowler G., Pashby I.R., Shipway P.H., (2009). “*The Effect Of Particle Hardness and Shape When Abrasive Water Jet Milling Titanium Alloy Ti6Al4V*”. Wear 266, 613-620.
- Ghannam S., Najm H., Vasconez R., (2016). “*Experimental Study Of Concrete Made With Granite and Iron Powders As Partial Replacement Of Sand*”. Sustainable Materials and Technologies 9, 1-9.
- Gönen T., Yazıcıoğlu S., (2004). “*Farklı Nem Ortamlarındaki Betonlarda Karbonatlaşma Gelişimi*”. Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 16(2): 367-373.
- Görgün B., Ural N., (2015). “*Mermer Atığının Geoteknik Mühendisliğinde Kullanılması*”. II. International Sustainable Buildings Symposium, 28-30 May 2015 Ankara, Turkey, 219-132.
- Gürer C., (2004). “*Atık Mermer Parçalarının Bitümlü Yol Kaplamalarında Kullanılması*”. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon Kocatepe Üniversitesi, 91 sayfa.
- Gürer C., Akbulut H., Kürklü G. “*İnşaat Endüstrisinde Geri Dönüşüm ve Bir Hammadde Kaynağı Olarak Farklı Yapı Malzemelerinin Yeniden Değerlendirilmesi*”. Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon.
- Hameed M. S., Sekar A. S. S., (2009). “*Properties Of Green Concrete Containing Quarry Rock Dust And Marble Sludge Powder As Fine Aggregate*”. Vol. 4, No. 4
- Hebhoub H., Aoun H., Belachia M., Houari H., Ghorbel E., (2011). “*Use Of Waste Marble Aggregates In Concrete*”. Construction and Building Materials 25, 1167–1171.
- Hojamberdiev M., Eminov A., Xu Y., (2011). “*Utilization Of Muscovite Granite Waste In The Manufacture Of Ceramic Tiles*”. Ceramics International 37, 871–876.
- İpekçi A.C., Coşkun N., Karadayı T.T., (2017). “*İnşaat Sektöründe Geri Kazanılmış Maleme Kullanımının Sürdürülebilirlik Açısından Önemi*”. Türk Bilim Araştırma Vakfı.
- Jain B., Sancheti G., Jain V. (2021). “*Application of Nano Sized Materials for Mitigating the Corrosion in Concrete: A Review*”. Department of Civil Engineering, Manipal University Jaipur, Dehmi Kalan, off Jaipur-Ajmer Expressway, Jaipur, 303007 Rajasthan, India.
- Kala F., (2013). “*Properties Of Granite Powder Concrete*”. 1st International Conference on Infrastructure Development, UMS Surakarta, 1 – 3 Nov.
- Kanmalai Williams C., Partheeban P., Felix Kala T., (2008). “*Mechanical Properties Of High Performance Concrete Incorporating Granite Powder As Fine Aggregate*”. International Journal on Design and Manufacturing Technologies, Vol.2, No.1.
- Karademir A., Varlıbaş H., Çiçek M., (2013). “*Kağıt Üretiminde CaCO₃ Dolgu Maddesinin Kimyasal Tutunması Üzerine Bir Araştırma*”. SDÜ Orman Fakültesi Dergisi 14, 48-52.
- Karahan D. S., (2018). “*Dünya’da ve Türkiye’de Doğal Taşlar*”. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Fizibilite Etütleri Daire Başkanlığı Raporu, ss. 40. Ankara.

- Karakaş F., ve Çelik M. Y., (2012). “İri Kristalli Mermer Artıklarının Su Bazlı Boyalarda Dolgu Maddesi Olarak Kullanımı”. Türkiye 8. Uluslararası Mermer ve Doğaltaş Kongresi, Afyonkarahisar.
- Karakurt İ., Aydın G., Aydın K., (2011). “Analysis Of The Kerf Angle Of The Granite Machined By Abrasive Waterjet (AWJ)”. Indian Journal of Engineering & Materials Sciences 18(6), 435-442.
- Karakurt İ., Aydın G., Aydın K., (2012). “A Study On The Prediction Of Kerf Angle In Abrasive Waterjet Machining Of Rocks”. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture 226, 1489-1499.
- Karakuş A., (2011). “Investigating On Possible Use Of Diyarbakir Basalt Waste In Stone Mastic Asphalt”. Construction and Building Materials 25, 3502-3507.
- Kavas T., Evcin A. ve Önce G., (2003). “Afyon Bölgesi Mermer Atıklarının (Şlam) Kalsiyum alüminalı Refrakter Çimento Üretiminde Hammadde Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması.”. Türkiye 4. Mermer Sempozyumu, Afyonkarahisar.
- Kayacı K., Köstebekçi N., Küçüker A.S., Uzun M., Kara A., (2018). “Mermer Kesim ve Frit Atıklarının Porselen Karo Bünyelerinde Beraber Kullanımı”. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi (Özel Sayı), 1-8.
- Kazancı N, Gürbüz A. “Jeolojik Miras Nitelikli Türkiye Doğal Taşları”. Türkiye Jeoloji Bülteni, 2014;57 (1): 19-44.
- Kılıç H., (2010). “Mermer Atıklarının Otomotiv Fren Balata Üretiminde Kullanılabilirliğinin Araştırılması”. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.
- Kisman Z. A., ve Kan Ö. D., (2011). “Elazığ Mermeri Sektörel Arastırması”, Fırat Kalkınma Ajansı Raporu, Elazığ, Türkiye.
- Kürklü G., Görhan G., Boğa A.R. (2018). “Atık Mermer Tozlarının Seramik Yapıştırma Harcı Olarak Değerlendirilmesi”. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi 18, 295- 305.
- Lebar A., Junkar M., (2004). “Simulation Of Abrasive Water Jet Cutting Process: Part 1, Unit Event Approach”. Modelling and Simulation in Materials Science and Engineering 12, 1159- 1170.
- Liew K. M., Sojobi A. O., Zhang, L. W., (2017). “Green Concrete: Prospects and Challenges, Construction and Building Materials”, Vol. 156, 1063–1095. doi:10.1016/J.CONBUILDMAT.2017.09.008
- Marinkovic S., Radonjanin V., Malesev M., Ignjatovic I., (2010). “Comparative Environmental Assessment Of Natural and Recycled Aggregate Concrete”, Waste Management.
- Menezes R.R., Ferreira H.S., Neves G.A., Ferreira H.C., (2008). “Se Of Granite Sawing Waste In The Production Of Ceramic Bricks and Tiles”. Journal of the European Ceramic Society.
- Onargan T., Köse H., Deliormanlı H. Mermer, (2006). TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayınları, 324, Ankara.
- Öntürk K., Vural İ., (2014). “Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılabilirliğinin Araştırılması”. 2. International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science (ISITES2014), 18-20 June, Karabük, Türkiye.
- Özcan A., (2006). “Endüstriyel Atıklar ve Polipropilen Lif İçeren Saha Betonlarının Özelliklerinin Araştırılması”. Yüksek Lisans Tezi, Karaelmas Üniversitesi, Zonguldak.

- Özel C., (2007). “*Katkılı Betonların Reolojik Özelliklerinin Taze Beton Deney Yöntemlerine Göre Belirlenmesi*”. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 249s., Isparta.
- Pehlivan E., Yazıcı M., Güner G., (2014). “*Endüstriyel Katı Atıklar ve Geri Kazanım*”. 2. International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science (ISITES2014), 18-20 June, Karabük, Türkiye.
- Ramyar K., (2007). *Portland Çimentosu – Süper akışkanlaştırıcı Katkı Uyumunu Etkileyen Faktörler*. 2.Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyumu ve Sergisi, Ankara.
- Rapple R.R., (2014). “*Selecting the Right Waterjet Abrasive*”. The Fabricator. Erişim tarihi 07 Ekim 2016 <http://www.thefabricator.com/article/waterjetcutting/selecting-the-right-waterjetabrasive>
- Sabah E., Erkan Z.E., (2014). “*Türkiye Kağıt Üretim Teknolojisini Değiştiren Mineral: Kalsiyum Karbonat (CaCO₃)*”. V. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, 13-14 Mayıs 2004, İzmir, 101-109.
- Sadek D.M., El-Attar M.M., Ali H.A., (2016). “*Reusing of Marble and Granite Powders In Self-Compacting Concrete for Sustainable Development*”. Journal of Cleaner Production 121, 19-32.
- Şahin N., (2009). “*Kalsit Hakkında Bazı Bilgiler*”. TMMOB Maden Mühendisleri Odası Bülteni.
- Şentürk A., Gündüz L., Tosun Y.İ., Sarıışık A. (1996). “*Mermer Teknolojisi*”. Tuğra Offset, Isparta, 242 s.
- Soltan A.M.M., Kahl W., El-Raouf F.A., Abdel-Hamid B., (2016). “*Lightweight Aggregates From Mixtures of Granite Wastes With Clay*”. Journal of Cleaner Production 117, 139–149.
- Sun G., Gomez, J., (2019). “*Düşük Maliyetli ve Çevre Dostu Çimento Üretmek Mümkün mü?*”. | Euronews. (n.d.).
- Sunday U. Azunna, Chidi J. Okolo (2022). “*Characteristic Compressive Strength of Concrete with the Use Granite Powder Additive.*” Universal Journal of Civil Engineering.
- Taşlıgil N., Şahin G., (2016). “*Yapı Malzemesi Olarak Kullanılan Türkiye Doğal Taşlarının İktisadi Coğrafya Odağında Analizi*”. Maramara Coğrafya Dergisi 33, 607-640.
- Torres P., Fernandes H.R., Olhero S., Ferreira J.M.F., Torres P., Fernandes H.R., Olhero S., Ferreira J.M.F., (2009). “*Incorporation Of Wastes From Granite Rock Cutting and Polishing Industries To Produce Roof Tiles*”. Journal of the European Ceramic Society 29, 23–30.
- TS EN 206-1/Nisan 2002 Taze beton kıvam sınıfları
- Ünal O., Kibici Y., (2001). “*Mermer Tozu Atıklarının Beton Üretiminde Kullanılmasının Araştırılması*”. Türkiye III. Mermer Sempozyumu (Mersem ‘2001), Afyonkarahisar.
- Ünal O., Kibici Y., (2001). “*Mermer tozu atıklarının beton üretiminde kullanılmasının araştırılması*”. Türkiye III. Mermer Sempozyumu, 3-5 Mayıs 2001, Afyon, 317-325.
- Ural N., Yakşe G., (2015). “*Atık Mermer Parçalarının Yol Temel Malzemesi Olarak Değerlendirilmesi*”. Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi 2(2), 53-62.
- Verma S., Kumar A., Rai B. (2012, June). “*Green Concrete–An Emerging Trend in India*”. In Proceedings of International Conference on Advances in Architecture and Civil Engineering (AARCV 2012) (Vol. 21, p. 1).

- Yeniboğalı A., Ertün T., (2005). “Çimentoda Yeni Standartlar ve Mineral Katkılar”. TÇMB, Ar-Ge Enstitüsü, Şubat, Ankara, YO4-01.
- Yeşilay S., (2018). “Mermer Atığı İlavesi ile Mat Sır Bileşimlerinin Üretimi”. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi 26(3), 123-131.
- Yeşilkaya L., Sarıçam F., Abi E. ve Ersoy M., (2010). “Traverten Atıklarının Volkanik Tüf Katkısıyla Yapay Mermer Üretiminde Kullanılabilirliğinin Araştırılması”. Türkiye 7. Uluslararası Mermer ve Doğaltaş Kongresi, Afyonkarahisar.
- Yeşilkaya L., (1995). “Mermer Madenciliği”. Afyon Kocatepe Üniv. Yay., Afyon , s.6.
- Yıldız A.H., (2008). “Mermer Toz Atıklarının Yol İnşaatında Değerlendirilmesi”. Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, 194 s.
- Yıldız Ö., Eskikaya Ş., (1995). “Afyon Mermeri Toz Atıklarının Değerlendirilmesi”. Türkiye I. Mermer Sempozyumu, 6-7 Nisan 1995, Ankara, 45-52.75
- Yüçetürk, G., Bilgin, A., (2009). “Isparta ve Yöresindeki Mermer Pasalarının Yapay Mermer Üretiminde Kullanılması”. Mermer Atıklarının Değerlendirilmesi ve Çevresel Etkilerinin Azaltılması Sempozyumu, Diyarbakır,
- Yurdakul M., (2020). “Natural stone waste generation from the perspective of natural stone processing plants: An industrial-scale case study in the province of Bilecik”. Turkey. Journal of Cleaner Production.

ÖZ GEÇMİŞ

Resul KAZANBAŞ, Rize Anadolu Öğretmen Lisesi'ni bitirdikten sonra Ondokuz Mayıs Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Anadal Çevre Mühendisliği Bölümünden 01.06.2017, Çift Anadal İnşaat Mühendisliği bölümünden 25.06.2018 tarihinde mezun oldu. 2019 yılında Ondokuz Mayıs Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans programına girdi. Mezuniyetinden bu yana özel sektörde mühendislik alanında çalışmalar yapmış ve hâlihazırda Samsun Büyükşehir Belediyesinde mühendis olarak görev yapmaktadır. Orta derecede İngilizce bilmektedir. Temel ilgi alanları, mühendislik, siyaset, yöneticilik, tarih ve spor. (17.06.2022)

İletişim Bilgileri

ORCID ID : 0000-0002-0223-472X

Yayımlar:

1. Kazanbaş, R. Akdemir, A., Doğaltaş Üretim Tesisleri Atık Granit Tozunun Beton Katkı Maddesi Olarak Kullanılabilirliğinin İncelenmesi. International Symposium on Characterization (ISC'22).