

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**ATIK MERMER TOZU KULLANILARAK
ÜRETİLMİŞ ÇEVRE DOSTU BETONLARIN DAYANIM VE
DAYANIKLILIK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Noorul Amin MAWLAWİZADA

Yüksek Lisans Tezi

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

HAZİRAN, 2020

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

**ATIK MERMER TOZU KULLANILARAK ÜRETİLMİŞ ÇEVRE
DOSTU BETONLARIN DAYANIM VE DAYANIKLILIK
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Tez Yazarı

Noorul Amin MAWLAWİZADA

Danışman

Doç. Dr. Kürşat Esat ALYAMAÇ

HAZİRAN, 2020

ELAZIĞ

BEYAN

Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım “Atık Mermer Tozu Kullanılarak Üretilmiş Çevre Dostu Betonların Dayanım ve Dayanıklılık Özelliklerinin incelenmesi” Başlıklı Yüksek Lisans Tezimin içindeki bütün bilgilerin doğru olduğunu, bilgilerin üretilmesi ve sunulmasında bilimsel etik kurallarına uygun davrandığımı, kullandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi, maddi ve manevi desteği olan tüm kurum/kuruluş ve kişileri belirttiğimi, burada sunduğum veri ve bilgileri unvan almak amacıyla daha önce hiçbir şekilde kullanmadığımı beyan ederim.

03/07/2020

Noorul Amin MAWLAWİZADA



ÖNSÖZ

Üzerinde çalışmalar yaptığım bu tezin önemi; atık mermer tozlarını beton içerisinde kullanarak, çevre dostu betonun elde edilmesini ve kaynakların az tüketilmesiyle daha ekonomik olmasını sağlamaktır.

Bu tez çalışması kapsamında bilgi ve tecrübelerinden faydalanmamı sağlayan, her türlü maddi manevi yardım ve desteğini benden esirgemeyen, sahip olduğu kişilik ve karakteri ile kalbimin derinliklerinde yer edinen, benim için yaptıklarını ömür boyu unutamayacağım saygı değer danışman hocam Sayın Doç. Dr. Kürşat Esat ALYAMAÇ'a şükranlarımı sunmayı bir borç bilirim.

Bu çalışmamın deneysel kısmında yardımcı olan arkadaşlarıma, İnş. Müh. Rahimgul RAHİMİ'ye, İnş. Müh. Sayet Enayatullah SAYETZADE'ye teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmamda laboratuvarımda, yaptığım deneysel çalışmalarımıda yardımcı olan yapı laboratuvarındaki Teknisyen Seyfettin Çiçek'e sonsuz teşekkürlerimi iletirim.

Hayatımın tamamında yanımda olan ve beni başarıya teşvik eden sevgili anneme, babama ve yakın dostlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Noorul Amin MAWLAWİZADA

ELAZIĞ, 2020

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	iv
İÇİNDEKİLER	iv
ÖZET	vii
ABSTRACT	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
TABLolar LİSTESİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR	xiii
1. Giriş	1
2. MERMER TOZU VE ÇEVRE DOSTU BETON TEKNOLOJİSİ	3
2.1. Mermerin Tanımı	3
2.1.1. Bilimsel Tanım	3
2.1.2. Jeolojik Tanım	3
2.1.3. Ticari Tanım	3
2.1.4. Petrografik Tanım	3
2.2. Mermerlerin Sınıflandırılması	4
2.3. Mermerin Tarihsel Süreci	5
2.4. Mermerin Kullanım Alanları	6
2.5. Mermer Taşının Kaynaklardan Mermer Sektörüne Getirilmesi	6
2.6. Mermer Atıklarının Oluşumu	6
2.6.1 Mermer Atıklarının Parça (Moloz) Halindeki Oluşumu	7
2.6.2. Mermer Atıklarının Toz Halindeki Oluşumu	7
2.6.3. Mermer Atığının Çamur Halindeki Oluşumu	8
2.7. Mermer Atıklarının Betonda Kullanımı Ve Değerlendirilmesi	8
2.7.1. Mermer Tozunun Betonda Belli Oranlarda İnce Agrega Yerinde Kullanımı	9
2.8. Çevre Dostu Beton Nedir?	10
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	13
3.1. Beton Karışımında Kullanılan Malzemeler	13
3.1.1. Çimento	13
3.1.2. Agrega	14
3.1.3. Kimyasal Katkılar	18
3.1.4. Mineral Katkı	18
3.1.5. Karışım Suyu	20
3.1.6. Hava	20
3.2. Karışım Hesabı	20
3.2.1. Atık Mermer Tozu Kullanılarak Üretilen Çevre Dostu Betonların Karışım Hesapları	20
3.3. Deney Metotları ve Sonuçlar	22
3.3.1. Taze Betonda Yapılan Deney Metotları Ve Sonuçlar	22
3.3.2. Sertleşmiş Betonun Metod ve Deneyleri	25
4. BULGULAR	39
4.1. Atık Mermer Tozu İle Üretilen Beton Numunelerinde Kullanılan Testler	39
4.1.1. Slump Testi	39

4.1.2. Yaş Birim Hacim Ağırlık.....	40
4.1.3. Kuru Birim Hacim Ağırlık.....	41
4.1.4. Beton yaşı, MT ve Basınç Dayanımı Arasındaki İlişki	42
4.1.4. Test Çekici.....	45
4.1.5. Ultrases Geçiş Hızı	47
4.1.6. Yarma Testi	50
4.1.7. Basınç Testi	51
4.1.8. Yoğunluk	55
4.1.9. Permeabilite (Kılcallık)	56
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	63
KAYNAKLAR	65
ÖZGEÇMİŞ	



ÖZET

Atık Mermer Tozu Kullanılarak Üretilmiş Çevre Dostu Betonların Dayanım ve Dayanıklılık Özelliklerinin İncelenmesi

Noorul Amin MAWLAWİZADA

Yüksek Lisans Tezi

FIRAT ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Haziran, 2020, Sayfa: xiii+70

Yapılan bu çalışmada mermer ocaklarından, mermer sektörüne getirilen mermer taşlarına istenilen kalıbı verebilmek için bir takım işlemlerin yapılması gerekmektedir. Bu işlemler sırasında meydana gelen atık mermerlerin çevredeki olumsuz etkilerini azaltmak için günümüzde yaygın bir şekilde beton karışımında kullanımı hedeflenmiştir. Atık mermer tozunun beton karışımında kullanımının yaygınlaşması, ekonomik yönden de oldukça katkı sağlamıştır. Atık mermer tozunun betonda kolaylıkla kullanılması betonun bazı özelliklerine bağlıdır, bu özellikler ise betonun taze ve sertleşmiş yapısı şeklinde ifade edilmektedir.

Yapılan çalışmanın amacı, beton karışımında atık mermer tozu kullanarak, çevre dostu bir beton türü üretmektir. Üretilen betonun, tahribatsız ve tahribatlı test metodları ile dayanım ve dayanıklılık özelliklerini, taze ve sertleşmiş betonun üzerine olan etkilerini belirlemektir.

Yapılan çalışmada, atık mermer tozu ile üretilen çevre dostu betonların karışım hesabında kullanılan atık mermer tozu miktarı, hacimce toplam karışımın, %0, %2, %4'ü şeklinde aynı zamanda iri ve ince agrega yerinde yer değiştirerek kullanılmıştır.

Bu çalışmada üretilen betonların çimento dozajı iki farklı (350 kg/m^3 ve 425 kg/m^3) şeklinde ve agrega granülometrisi ise üç farklı (%65 İnce-%35 İri), (%55 İnce-%45 İri), (%45 İnce-%55 İri) şeklinde kullanılmıştır. Buna göre, işlenebilirlik ve dayanım üzerine en etkili parametrelerin belirlenmesi hedeflenmiştir. Üretilen çevre dostu betonların, taze ve sertleşmiş beton özellikleri tespit edilmiştir. Yapılan çalışma değerlendirirken mermer tozu oranı ve agrega granülometri etkisine göre yapılmıştır.

Sonuç olarak, atık mermer tozunun beton karışımında kullanarak çevre dostu betonun üretilmesinin mümkün olduğunu, çevre kirliliğini azalttığını, insanların sağlığına ve doğaya fayda sağladığını, aynı zamanda kaynakların az tüketilmesi ile ekonomiye katkıda bulunacağını söylenebilir.

Anahtar Kelimeler: Çevre Dostu Beton, Mermer Tozu, Atık yönetimi

ABSTRACT

Determination of Strength and Durability Performance of Eco-efficient Concrete Produced with Marble Waste Powder

Noorul Amin MAWLAWIZADA

Master's Thesis

FIRAT UNIVERSITY

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Construction

June, 2020, Page:xiii+70

In this study, it is necessary to perform some operations in order to give the desired pattern to the marble stones brought from the marble quarries to the marble sector. In order to reduce the negative effects of waste marbles that occur during these processes in the environment, it is aimed to be widely used in concrete mixture today. The widespread use of waste marble powder in concrete mixing has also contributed considerably economically. The easy use of waste marble powder in concrete depends on some properties of concrete, these properties are expressed as the fresh and hardened structure of concrete.

The aim of the study is to produce an eco-efficient concrete type by using waste marble powder in the concrete mixture. To determine the strength and durability properties of the produced concrete with non-destructive and destructive test methods and their effects on fresh and hardened concrete.

In the study, the amount of waste marble powder used in the calculation of eco-efficient concrete produced with waste marble powder was used by changing the coarse and fine aggregate at the same time as 0%, 2%, 4% of the total mixture by volume.

The cement dosage of the concrete produced in this study is in two different forms (350 kg / m³ and 425 kg / m³) and aggregate granulometry is three different (65% Fine-35% Coarse), (55% Fine-45% Coarse), (45% Fine - 55% Coarse). Accordingly, it is aimed to determine the most effective parameters on machinability and strength. Fresh and hardened concrete properties of the eco-efficient concrete produced have been determined. While evaluating the study, marble powder rate and aggregate were made according to the granulometer effect.

As a result, can say that it is possible to produce eco-efficient concrete by using waste marble powder in the concrete mixture, reduces environmental pollution, benefits people's health and nature, and also contributes to the economy with less consumption of resources.

Keywords: Eco-efficient Concrete, Marble Powder, Waste Management

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1.	Mermer atığının moloz halinde oluşumu	7
Şekil 2.2.	Mermer atığının toz halinde oluşumu	7
Şekil 2.3.	Mermer atığının çamur halinde oluşumu	8
Şekil 3.1.	Agrega tane şekillerinin görünümü	15
Şekil 3.2.	Kullanılan ince ve iri agregaların görünümü.....	15
Şekil 3.3.	Agrega karışım-1' in elek analizi grafik çizgisi	17
Şekil 3.4.	Agrega karışım-2' in elek analiz grafik şekli	17
Şekil 3.5.	Agrega karışım-3' ün elek analizi grafik şekli	17
Şekil 3.6.	Kullanılan mermer tozunun görüntüsü.....	20
Şekil 3.7.	Çökme (slump) deneyi ekipmanları	23
Şekil 3.8.	Çökme (slump) deneyi ölçüm anındaki görünüm	24
Şekil 3.9.	Üretilen betonun kürtleme görüntüsü.....	26
Şekil 3.10.	Geri sıçrama deneyinin görüntüsü.....	27
Şekil 3.11.	Ultrases geçiş hızı görüntüsü.....	29
Şekil 3.12.	Yarma deneyi (yarmada çekme deneyi) görünüşü	31
Şekil 3.13.	Üretilen çevre dostu betonun basınç testi altında numune görünümü	33
Şekil 3.14.	Üretilen betonun kılcallık deneyi görünümü	36
Şekil 4.1.	MT, karışım oranı ve slump değerlerine göre grafik çizimi (%MT- K -Slump _{cm})	40
Şekil 4.2.	MT, karışım oranı ve yaş birim hacim ağırlık değerlerine göre grafik çizimi (%MT- K - $\delta_{yaş}$).....	41
Şekil 4.3.	MT, karışım oranı ve kuru birim hacim ağırlık değerlerine göre grafik çizimi (%MT-K- δ_{kuru})	42
Şekil 4.4.	Çimento dozaj 350 kg olan serilerin, beton yaşı, MT ve basınç değerlerine göre grafik değerlendirilmesi.....	43
Şekil 4.5.	Çimento dozajı 425 kg olan serilerin, beton yaşı, MT ve basınç değerlerine göre grafik değerlendirilmesi.....	44
Şekil 4.6.	MT, karışım oranı ve 3 günlük test çekici R değerlerine göre grafik çizimi (%MT-K-R).....	45
Şekil 4.7.	MT, karışım oranı ve 7 günlük test çekici R değerlerine göre grafik çizimi (%MT-K-R).....	46
Şekil 4.8.	MT, karışım oranı ve 28 günlük test çekici R değerlerine göre grafik çizimi (%MT-K-R)...	47
Şekil 4.9.	MT, karışım oranına ve 3 günlük ultrases geçiş dalga hızı V değerlerine göre grafik çizimi (%MT-K-V)	48
Şekil 4.10.	MT, karışım oranına ve 7 günlük ultrases geçiş dalga hızı V değerlerine göre grafik çizimi (%MT-K-V)	49
Şekil 4.11.	MT, karışım oranına ve 28 günlük ultrases geçiş dalga hızı V değerlerine göre grafik çizimi (%MT-K-V)	50
Şekil 4.12.	MT, karışım oranı ve 28 günlük yarma dayanımı değerlerine göre grafik çizimi	51

Şekil 4.13.	MT, karışım oranı ve 3 günlük basınç dayanım değerlerine göre grafik çizimi (%MT-K-MPa).....	52
Şekil 4.14.	MT, karışım oranı ve 7 günlük basınç dayanım değerlerine göre grafik çizimi (%MT-K-MPa).....	53
Şekil 4.15.	MT, karışım oranı ve 28 günlük basınç dayanım değerlerine göre grafik çizimi (%MT-K-MPa).....	54
Şekil 4.16.	MT, karışım oranı ve 28 günlük basınç dayanım değerlerine göre grafik çizimi (%MT-K-MPa).....	55
Şekil 4.17.	MT, karışım oranı ve üretilen çevre dostu beton yoğunluk değerlerine göre grafik çizimi (%MT-K-d)	56
Şekil 4.18.	Yapılan çalışmanın karışım-1' e (%65 ince-%35 iri) ait 28 günlük permeabilite deneylerinin grafik çizimi çimento dozajı 350 (kg/m ³)	57
Şekil 4.19.	Yapılan çalışmanın karışım-2' ye (%55 ince-%45 iri) ait 28 günlük permeabilite deneylerinin grafik çizimi çimento dozajı 350 (kg/m ³)	58
Şekil 4.20.	Yapılan çalışmanın karışım-3' e (%45 ince-%55 iri) ait 28 günlük permeabilite deneylerinin grafik çizimi çimento dozajı 350 (kg/m ³)	59
Şekil 4.21.	Yapılan çalışmanın karışım-1' e (%65 ince-%35 iri) ait 28 günlük permeabilite deneylerinin grafik çizimi çimento dozajı 425 (kg/m ³)	60
Şekil 4.22.	Yapılan çalışmanın karışım-2' ye (%55 ince-%45 iri) ait 28 günlük permeabilite deneylerinin grafik çizimi çimento dozajı 425 (kg/m ³)	61
Şekil 4.23.	Yapılan çalışmanın karışım-3' e (%45 ince-%55 iri) ait 28 günlük permeabilite deneylerinin grafik çizimi çimento dozajı 425 (kg/m ³)	62

TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1.	Mermerlerin kristal tane boyutuna göre sınıflandırılması	4
Tablo 2.2.	Mermerlerin yapısına göre sınıflandırılması	4
Tablo 2.3.	Mermerlerin bileşim oranlarına göre sınıflandırılması	4
Tablo 2.4.	Mermerlerin oluşturduğu minerallara göre sınıflandırılması	5
Tablo 2.5.	Mermerlerin ekonomik koşullara göre sınıflandırılması	5
Tablo 2.6.	Mermerlerin doğadaki rengine göre sınıflandırma	5
Tablo 3.1.	CEM I 42.5 R Tipi çimentosunun dayanım özellikleri	13
Tablo 3.2.	CEM I 42.5 R Tipi çimentosunun fiziksel özellikleri	14
Tablo 3.3.	CEM I 42.5 R Tipi çimentosunun kimyasal özellikleri	14
Tablo 3.4.	Agrega karışım-1' in elek analizi	16
Tablo 3.5.	Agrega karışım-2' inin elek analizi	16
Tablo 3.6.	Agrega karışım-3' ün elek analizi	16
Tablo 3.7.	Kimyasal katkının teknik özellikleri	18
Tablo 3.8.	Puzolanik malzemelerin sınıflandırılması	19
Tablo 3.9.	Atık mermer tozunun fiziksel ve kimyasal özellikleri	19
Tablo 3.10.	3 Farklı granülometriye göre mermer tozu kullanılmış çevre dostu betonların karışım hesabı	21
Tablo 3.11.	Taze betonun kıvam sınıfları	22
Tablo 3.12.	Yapılan deneylerin çökme değerleri	24
Tablo 3.13.	Yaş birim hacim ağırlık değerleri	25
Tablo 3.14.	Kuru birim hacim ağırlık değerleri	25
Tablo 3.15.	(3) Günlük geri sıçrama deneylerinin değerleri	27
Tablo 3.16.	(7) Günlük geri sıçrama deneylerinin değerleri	27
Tablo 3.17.	(28) Günlük geri sıçrama deneylerinin değerleri	28
Tablo 3.18.	Üretilen betonun kalitesinin tahmini	29
Tablo 3.19.	Üretilen betonun 3 günlük ultrases geçiş hız değerleri	29
Tablo 3.20.	Üretilen betonun 7 günlük ultrases geçiş hız değerleri	29
Tablo 3.21.	Üretilen betonun 28 günlük ultrases geçiş hız değerleri	30
Tablo 3.22.	Üretilen betonun 28 günlük yarma değerleri numune boyutu (150×150×150) mm	31
Tablo 3.23.	TS EN 206-1. Standart beton sınıfları ve dayanımları	32
Tablo 3.24.	Üretilen betonun 3 günlük basınç değerleri numune boyutu (150×150×150) mm	33
Tablo 3.25.	Üretilen betonun 7 günlük basınç değerleri numune boyutu (150×150×150) mm	33
Tablo 3.26.	Üretilen betonun 28 günlük basınç değerleri numune boyutu (150×150×150) mm	34
Tablo 3.27.	Üretilen betonun 28 günlük basınç değerleri numune boyutu (100×100×100) mm	34
Tablo 3.28.	Sertleşmiş betonun yoğunluk değerleri	35

Tablo 3. 29. Çimento dozajı 350 kg olan karışımın kılcallık değerleri (kg).....	37
Tablo 3. 30. Çimento dozajı 425 kg olan karışımın kılcallık değerleri (kg)	38



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

γ_c	: Çimentonun Birim Hacim Ağırlığı.
γ_{mt}	: Mermer Tozunun Birim Hacim Ağırlığı.
γ_y	: Yaş Birim Hacim Ağırlık
γ_k	: Kuru Birim Hacim Ağırlık
W	: Su
Ç	: Çimento
D	: Yoğunluk
K	: Karışım

Kısaltmalar

MT	: Mermer Tozu
PÇ	: Portlan Çimento
TS	: Türkiye Standartları
YBHA	: Yaş Birim Hacim Ağırlık
KBHA	: Kuru Birim Hacim Ağırlık

1. GİRİŞ

Beton; agregâ, çimento, su ve ihtiyaç olduğunda da katkı (kimyasal, mineral ve fiber, vb.) maddeleri belirli oranlarda ve koşullarda homojen olarak karıştırılmasıyla üretilen, ilk başta şekil verebilme özelliğine sahip (plastik kıvama da) olan zamana bağılı olarak betonun içerisindeki su ve çimento reaksiyona girerek (hidratasyon) olayı gerçekleşerek dayanımı artan bir yapı malzemesidir [1]. Esasını çimento oluşturan bu yapı malzemesi dünyada inşaat sektöründe oldukça yoğun kullanılmaktadır. Üretim aşamalarında işlenebilirliği ve yerleştirilebilirliği zor olmayan, maliyeti daha az, basınç dayanımı yüksek, çekme dayanımı düşük olan ve bu dayanım uygulama esnasında çelik donatısı ile dengelenebilen bir yapı malzemesidir [2].

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 [3].

Kullanım alanları ise, 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 [4].

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 kütleme işleminin düzenli bir şekilde yapılmasına bağlıdır. Ayrıca yapılan bu uygulamalar yeterli olmayacaktır çünkü üretilen betonun dış faktörlere karşı da korunması gerekmektedir [5].

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 [6]. Açık ve nemli ortamlarda da bulunan karbondioksit (CO₂)

betonun esasını oluşturan çimento ile reaksiyona girerek karbonatlaşma olayın gerçekleşmesine neden olmaktadır [7]. 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 [8].

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 [9]. Aynı zamanda insanların da ihtiyacı artmaktadır. İnsanların ihtiyacını karşılamak için endüstriyel sektörlerinde ham maddeler işlenmektedir. İşlenme sırasında açığa çıkan atık malzemelerin arttığı tespit edilmiştir [10].

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 [11]. 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 kirliliği 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 [12].

Bilindiği gibi Türkiye dahil bir çok 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 taahhüdleşmektedirler. 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 bir çoğunun geri dönüşümü için çalışmalar yapılmaktadır. Literatürde bakıldığında mermer tozunun geri dönüşümü için pek bir çalışma yapılmamaktadır [13].

Böylece bu tez çalışmasının amacı; beton karışımında atık mermer tozu kullanarak çevre dostu bir beton türü elde etmektir. Bu karışımlar yardımıyla, üretilen beton numuneleri üzerinde tahribatlı ve tahribatsız testler uygulanarak (3, 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. MERMER TOZU VE ÇEVRE DOSTU BETON TEKNOLOJİSİ

2.1. Mermerin Tanımı

Mermer, yeryüzünde doğal olarak bulunan bir çeşit maden türüdür. Mermerlerin genelde tanımı dört farklı şekilde yapılmaktadır, bilimsel, jeolojik, ticari ve petrografik.

2.1.1. Bilimsel Tanım

Bünyesinde yüksek miktarda kalsiyum karbonat, az miktarda ise magnezyum karbonat ve farklı metal oksitler bulunduran kayalardır. Metamorfizma olayı ile başkalaşma sonucundan oluşan yeryüzünde bulunan bir nevi maden türüdür. Yer küresinde oluşan derzler ise yer sarsıntısının meydana gelmesi ile oluşmaktadır. Bu derzler ise zamanla kalsitle dolarak mermer damarlarının oluşumuna neden olmaktadır [14].

2.1.2. Jeolojik Tanım

Mermerler, kalsiyum karbonat (CaCO_3) ve dolomitik kireçtaşının basınç ve ısı ile metamorfizma olayı sonucu oluşan bir çeşit kayaç türüdür [15]. Aynı zamanda mermerler doğada kayaç olarak farklı türlerde bulunmaktadır. Metamorfik kökenli granit, magmatik kökenli granit, bazalt, şist, konglomera, kayrak taşı vb. gibi isimlerle tanılmaktadır [16].

2.1.3. Ticari Tanım

Ticarete metamorfik, magmatik, ve tortul olarak tanımlanan mermer ise, 3213 sayılı Maden Kanunu'na göre, bulunduğu kaynaklardan farklı yöntemler ile farklı boyutlarda, blok şeklinde, soğuma derzlerine göre ve kullanım amacına göre kesilerek elde edilen kayalardır [17]. Başka bir ifade ile kesilerek istenilen şekil verilebilme özelliğine sahip, parlatılarak cilalanabilen ve dayanımı yüksek olan kayalardır [18].

2.1.4. Petrografik Tanım

Mermerin jeolojik oluşumuna benzer aynı boyutlara sahip kalsit içeren kristal taşların metamorfizma sonucundan meydana gelen ve yapısında boşluk bulundurmeyen kayalardır [19].

2.2. Mermerlerin Sınıflandırılması

Kristal tane boyutuna, yapısına, bileşim oranlarına, oluşturduğu minerallere, ekonomik koşullara ve rengine göre sınıflandırılmaktadır. Bu sınıflandırmalar aşağıda Tablo 2.1, 2.2, 2.3, 2.4, 2.5 ve 2.6’da sunulmaktadır.

Tablo 2.1. Mermerlerin kristal tane boyutuna göre sınıflandırılması [20]

Mermerin Boyutuna Göre Çeşidi	Mermerin Tane Boyutu
İnce	$0 < \text{tane boyutu} < 1 \text{ mm}$ den küçük olan mermerlerdir
Orta	$1 \leq \text{tane boyutu} \leq 5 \text{ mm}$ arasında olan mermerlerdir
İri	$5 \text{ mm} < \text{tane boyutu}$ büyük olmalıdır

Tablo 2.2. Mermerlerin yapısına göre sınıflandırılması [21]

Mermerin Yapısına Göre Çeşidi	Mermerin Yapısına Göre Özellikleri
Saf ve katkısız mermerler	Katı, boyut olarak ince ve iri olan mermerlerdir.
Laminal mermer	Katmer ve tabaka halinde bulunan ince taneli mermerlerdir.
Breşik mermer	Fay şeklinde tali mineraller ile oluşan mermerlerdir.
Şisti mermer	Kolayca yapraklanabilen yapısında silis ve alüminyum bulunduran mermerlerdir.

Tablo 2.3. Mermerlerin bileşim oranlarına göre sınıflandırılması [22]

Mermerin Bileşim Çeşitleri	Mermerin Bileşim Özellikleri
Mermer	Yaklaşık % 95 kalsiyum karbonat içermektedir. Saf ve katkısız bir yapıya sahiptir. Aynı zamanda Kuvars ve Mika gibi mineraller de içermektedir.
Mermer-Skarn	%(80-90) Kalsiyum karbonat içermektedir. Bunlar, Diopsit, Olivin, Epidot grana mineraller olarak adlandırılır.
Spolen	Bonyasında % 80 kalsiyum karbonat bulundurmaktadır. Diopsit, Grona, Flonapit ve Tremotil gibi minerallere denir.
Kalsit	%(60-70) kalsiyum karbonattan oluşmaktadır. Bloklar şeklinde olup cilalandırılabilen kayalardır.

Tablo 2.4. Mermerlerin oluşturduğu minerallere göre sınıflandırılması [23, 24, 25]

Mermerlerin Mineral Çeşidi	Mermerlerin Mineral Özellikleri
Sedimanter (tortul) mermerler	Kayaçların tortulaşması, parçalanması ya da aşınması gibi ayrışmalar sonucu oluşan tortul kayaçlar.
Metamorfik (başkalaşma) mermerler	Kayaçların fizikçe ve kimyaca değişmesi sonucu, başkalaşma olarak oluşan mermerlerdir.
Magmatik mermerler	Tüm magmatik kayaçların olduğu erimiş veya yarı erimiş doğal malzemedir. Yer yüzünde yer kabuğundan sokulması sonucu oluşan mermerlerdir. Bunlar, bazalt, siyenit, granit, diyabaz, gabro ve serpantin gibi kayaç türleridir.

Tablo 2.5. Mermerlerin ekonomik koşullara göre sınıflandırılması [26]

Ekonomik Sınıflandırma	Ekonomik Sınıflandırma Çeşitlerinin Türleri
Normal mermerler	Dolomit, konglomera gibi mermerlerdir.
Sert mermerler	Diyabaz, serpantin, granit gibi mermerlerdir.
Oniks ve traverten mermerler	

Tablo 2.6. Mermerlerin doğadaki rengine göre sınıflandırma [27]

Renk	Genellikle beyaz ve gri renklere sahiptir ama bünyesinde bulunduran farklı elementler vasıtasıyla doğada değişik renklerde de bulunmaktadır. Pembe, gri, yeşil, siyah gibi olarak bulunmaktadır.
------	--

2.3. Mermerin Tarihsel Süreci

Tarihsel olarak bakıldığında zaman, insanoğlu kendi geçim ve yaşam ihtiyaçlarını karşılamak için doğal kaynaklara başvurmaktadır. Zamanla insan nesli artarken ihtiyaçları da artmaktadır. Böylece insanların ihtiyaçlarını karşılamak için birçok çalışmalar yapılarak doğadaki kaynakların kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Eskiden yer altı kaynakları; sanat yapıları, tarihi eserler, barınma ve korunmak için kullanılıyordu. Teknolojinin gelişmesiyle kullanım alanları da artmıştır. Doğal kaynaklar ekonomik bakımdan ülkeler arasında çok büyük farklar yaratmaktadır. Bir ülke doğal kaynak olarak ne kadar zenginse o kadar gelişme hızına sahiptir [26]. 1939 yılında başlayıp 1945 yılında son bulan ikinci dünya savaşının nedeni de yer altı kaynaklarıdır. Zamanla yer altı kaynakların ehemmiyeti bir ülkenin gelişimine ve kalkınmasına sebep olması fark edilmiştir. Böylece her ülke kendini güvence altına almak için gereken çabayı göstermiştir. Aynı zamanda sanayi sektörleri gelişen ülkeler, yer altı kaynağı bulunan bölgeleri kendi aralarında paylaşamama nedeniyle ikinci dünya savaşının gerçekleşmesine neden olmuştur [28]. Bu nedenle birçok insan hayatını kaybetmiştir. Çevrede bırakılan atık mermerlerin ve diğer atık malzemelerin geri

dönüşümü ve tekrardan değerlendirilmesi doğal kaynaklara olan ihtiyacı azaltmaktadır. Geri dönüşüm, çevreye ve insanların sağlıklı yaşamasına katkıda bulunmaktadır.

2.4. Mermerin Kullanım Alanları

Sektörü gelişen ve gelişmekte olan ülkelerin, gelişmesine neden olan en önemli sektörlerden biri olarak bilinen mermer, insanların doğuşundan günümüze kadar farklı alanlarda ve farklı amaçlar için kullanılmaktadır. Özellikle orta doğuda son 1.000 yıl içerisinde Romalılar, Bizanslar, Selçuklular ve Osmanlılar döneminde sanat yapıları olarak sarayların, camilerin, kiliselerin, hamamların ve heykellerin, süslenmesinde oldukça yoğun bir şekilde kullanılmıştır [16, 29]. Günümüzde ise kullanım alanları insanların ihtiyacının artması ile paralel bir artış göstermektedir. Evlerin iç ve dış cephelerin süslenmesinde, parke taşı olarak kaldırımlarda, duvarların kaplamasında, mutfak tezgâhlarında, seramik, plastik, cam, kâğıt, yol yapımı, beton karışımında vb. kullanılmaktadır [30-32, 13].

2.5. Mermer Taşının Kaynaklardan Mermer Sektörüne Getirilmesi

Literatüre baktığımız zaman mermer taşlarının kaynaklarından mermer sektörüne getirilmesi için birçok metod ve yöntemin kullanımı önerilmektedir. Bu metod ve yöntemler, TOPSİS, Bulanık TOPSİS, AHP, Bulanık AHP ve ELECTRE metod ve yöntemleri olarak adlandırılmaktadır. ELERN ve ERSOY 2007 yılında yaptığı çalışmalarında Bulanık Topsis yöntemini kullanarak önermişlerdir. 2008 yılında ÇİMEN ve ekipleri ise, mermerin daha kolay ve daha pratik kesilmesi için bir yazılım geliştirerek kullanımını tavsiye etmişlerdir. Aynı yılda YILMAZ ve GÖKTEN'in mermerlerin dairesel testere kesicilerle kesim esnasındaki kuvvet ve enerji tüketim oranı, ENGİN ve ÖZKAN'ın kesici makinelerinin tükettiği enerjinin incelenmesi, 2009 yılında ise ANFİS ve YSA metotları ile mermer bloklarının kesme anında spesifik etken olarak tüketilmesi gereken enerjinin tahmin edilmesi gibi çalışmalar yaparak önerilerde bulunmuşlardır [33-39].

2.6. Mermer Atıklarının Oluşumu

Genel bir değerlendirme yapıldığında mermer atıklarının oluşumuna neden olan faktörleri yerine ve boyutuna göre şu şekilde değerlendirme yapabiliriz; kaynaklardan mermer sektörüne getirilen mermer taşları ilk başta çok farklı ve değişik geometrik şekillere sahiptir. Bu taşları kullanım amacına göre istenilen geometrik şekli verebilmek için kesme işlemi yapılmaktadır [40].

2.6.1 Mermer Atıklarının Parça (Moloz) Halindeki Oluşumu

Mermer taşlarının ocaklarda işlenmesi sırasında blok biçiminde elde edilirken ve mermer sektöründe kesme işlemi yapılırken oluşan ve ticari anlamda ekonomiye katkısı olmayan çevreye bırakılan atık parçalardır [41]. Mermer atıklarının moloz halindeki oluşumu Şekil 2.1’de gösterilmektedir.



Şekil 2.1. Mermer atığının moloz halinde oluşumu

2.6.2. Mermer Atıklarının Toz Halindeki Oluşumu

Atık mermer tozunun oluşumu iki şekilde oluşmaktadır. Birincisi mermer taşlarının kesme sırasında oluşur. İkincisi ise taşıma sırasında mermer bloklarının ezilmesi sonucu oluşmaktadır [16, 42]. Oluşan mermer tozu mermer sektörleri tarafında değerlendirilmeden çevrede açık alanda bırakılmaktadır. Mermer atıklarının toz halindeki oluşumu Şekil 2.2’de gösterilmektedir.



Şekil 2.2. Mermer atığının toz halinde oluşumu

2.6.3. Mermer Atığının Çamur Halindeki Oluşumu

Mermer atıklarının çamur olarak oluşumu sırasında kesici makinelerin ucunda bulunan aletin çok çabuk ısınmasını ve mermer tozunun etrafa uçuşmasını önlemek için soğutucu su kullanılarak kesilmektedir. Böylece su ile karışıp akan mermer çamuru, doğrudan arazide bulunan kuyulara toplanıp atık mermer çamurunu oluşturur [40]. Türkiye’de yapılan bir değerlendirmede mermer sektörlerinde yıllık 1.750.000 ton mermer işlenmektedir [43]. Bu miktarın yaklaşık 550.000 tonu bloklar halinde üretilmektedir [44]. Yapılan bir araştırmaya göre üretim sırasında yaklaşık %30’u atık olarak çevrede bulunan açık alanlarda bırakılmaktadır. Böylece çevreyi kirleterek doğada olumsuz etkiler yaratmaktadır [17]. Çevrede bırakılan bu atıklar yukarıda hatırlatıldığı gibi farklı şekillerde oluşmaktadır. Mermer atıklarının çamur halindeki oluşumu Şekil 2.3’te gösterilmektedir.



Şekil 2.3. Mermer atığının çamur halindeki oluşumu

2.7. Mermer Atıklarının Betonda Kullanımı Ve Değerlendirilmesi

Mermer atıkların beton karışımı içerisinde kullanılmasının birçok nedeni vardır. Mermer ocaklarında ve mermer sektöründe meydana gelen mermer atıklarının, çevreye ve insanların sağlığına olan olumsuz etkisini ortadan kaldırmak veya azaltmaktır [45]. Dünya genelinde değerlendirecek olursak birçok uluslararası kuruluşlar kaynakların hızlı bir şekilde tüketilmesini önleyerek verimli bir şekilde kullanılması konusunda çalışmalar yapmaktadır. Bu kapsamda şu anki ilerlemekte olan gelişmeler, gereken ihtiyacı karşılayabilir. Fakat gelecekte bizden sonraki kuşakların ihtiyaçlarını karşılama konusunda bir sorun yaratılmaması unutulmamalıdır [46]. Bu nedenle çevreye bırakılan mermer atıklarının beton içerisinde değerlendirilmesi, doğal kaynakların az tüketilmesine neden olabilmektedir. Böylece ülke ekonomisinde katkı sağlamaktadır. Şu ana kadar dünya çapında üretilen mermer miktarı yaklaşık 7 milyon ton’a ulaşmaktadır [47]. Bu

miktarın üretim aşamasında küçük parçalar ve toz şeklinde yaklaşık %30'u, atık olarak çevreye bırakılmaktadır [48]. Türkiye'de yapılan araştırmalara göre mermer sektörlerinde 1m³ mermer bloğunun makinelerle işlenme sırasında yaklaşık %48'i toz halinde atık olarak çevreye bırakıldığı bilinmektedir. Türkiye'de 2005 yılında üretilen mermer miktarı 5.400.000 ton olarak hesaplanmıştır. Buna göre çevreye atık olarak bırakılan miktarı 2.592.000 ton olarak belirlenmiştir [49-51]. Başka bir yandan, gün geçtikçe betonun inşaat sektöründe kullanımı artarak beton karışımında kullandığımız agrega ve çimento ihtiyacının artmasını da görmekteyiz. Türkiye'de her yıl yaklaşık 290.000.000 ton doğal ve yapay agrega üretilerek kullanılmaktadır [52]. Yaklaşık 70.000000 ton çimentonun da üretilerek kullanılması görülmektedir [53]. Bu nedenle, silis dumanı, uçucu kül ve mermer tozu gibi mineral katkıları agrega ve çimento ihtiyacını azaltarak ekonomiye bir katkıda bulunmaktadır. Aynı zamanda daha yüksek dayanım, dayanıklı ve daha kaliteli bir beton türü elde etmektir [54]. Literatüre bakıldığında mermer atıklarının beton karışımı içerisinde iki farklı şekilde kullanıldığı müşahade edilmektedir, birincisi betonun esasını oluşturan çimento, ikincisi ise maliyeti daha yüksek olan ince agregalardır.

2.7.1. Mermer Tozunun Betonda Belli Oranlarda İnce Agrega Yerinde Kullanımı

Ünal, O. ve Kibici, A. (2001), çalışmalarında; Havuz çökeltisinde oluşan mermer atıklarının beton karışımındaki ince malzeme yerinde ikame edilerek üretilen beton numunelerinin basınç dayanımı araştırılmaktadır. Üretilen betonda agrega olarak kalker ve kırma taşı, çimento sınıfı olarak ta PÇ 32.5 N tipi seçilerek kullanılmıştır. Deneysel çalışmalarının tamamında s/ç oranı sabit tutularak çimento dozajları 300 ile 350 kg seçilerek iki farklı beton serisi üretilmiştir. Mermer tozu ise belli oranlarda (%0, %10, %15 ve %20) olarak hacimce ince agrega ile yer değiştirerek kullanılmıştır. Üretilen beton numuneleri üzerinde taze beton (yaş birim hacim ağırlık ve çökme) deneyleri, sertleşmiş beton deneyleri, 28 günlük basınç mukavemeti, çekme mukavemeti, ultrases geçiş hızı ve kılcalık gibi testler yapılmaktadır. Sonuç olarak beton karışımı içerisinde kullanılan mermer tozunun beton dayanımına herhangi bir olumsuz etkide bulunmadığı görülmektedir. Böylece belli oranlarda kullanılması önerilerek çevreye ve ekonomiye fayda sağlayacağı söylenmektedir [55].

Demirel, B. ve Yazıcıoğlu, S. (2010) çalışmalarında; Atık mermer tozu ince agrega yerinde belli oranlarda ikame edilerek kullanılmıştır. Üretilen beton numuneleri üzerinde basınç dayanımı, elastite modülü ve ultrases geçiş hızı araştırılmaktadır. İnce agrega yerinde ağırlıkça ikame edilen mermer tozu %0, %25, %50 ve %100 oranlarında kullanılmaktadır. İkame edilen ince agreganın dane çapı da 0,25 mm olarak seçilmektedir. Bu çalışmada üretilen beton numunelerinin boyutu ise (150x150x150) mm'dir. Üretilen beton numunelerin kürlleme işlemi standarda uygun olarak yapıp 3,7 ve 28 günlük testleri uygun bir şekilde yapılmıştır. Elde edilen elastite modülü ve ultrases geçiş

hızının sonuçları basınç dayanımının sonuçları ile kıyas yapılarak belli bir sonuca ulaşılmıştır. Bu sonuçlara göre mermer tozu, dane çapı 0.25 mm olarak seçilen agreganın belli bir yüzdesi ile veya hepsi ile yer değiştirerek üretilen numunelerin dayanımının artması gözlenmiştir. Böylece atık mermer tozunun betonda kullanarak çevreye olan olumsuz etkisinin azaltılması ve doğal kaynakların az tüketilmesinin mümkün olması görülmektedir [56].

Mümin FİLİZ *, Cengiz ÖZEL *, Oktar SOYKAN *, Yunus EKİZ * Çalışmalarında; Mermer tozunun parke taşlarında kullanarak değerlendirilmişler. Bunların bu çalışmada iki farklı çimento tipi (CEM II 32.5 N, CEM I 42.5 R), su/çimento oranını da iki farklı değer (0.50, 0.55) ve karışımların tamamında çimento dozajı 400 kg/m³ seçilerek kullanılmıştır. Mermer tozu birinci tip çimento için hacimce %0, %10, %20, %30 ikinci tip çimento için %0, %10, %20, %30, %40 agrega ile ikame edilerek (150x150x150) mm ebatlarına sahip beton numuneleri üretilmiştir. Bu numuneler üzerinde tahribatlı ve tahribatsız test metodları uygulanarak sonuçları kaydedilmiştir. Bu sonuçlara göre iki tip çimento için de fiziksel ve mekanik özelliklerinin referans betona göre artışı görülmektedir. Bu artışlar yüzde olarak şu şekilde hesaplanmaktadır, %32.3, basınç dayanımı, %13.5 yarma dayanımını, %15.2 elastisite modülü, %25.8 su emme oranı, %8.4 aşınma değeridir. Elde edilen bu sonuçlar standardı sağladığına göre mermer tozu atıklarının parke taşları üretiminde kullanılması önerilmiştir [57]. Literatüre bakıldığında mermer tozunun bir çok atık malzemeler (Silis dumanı, Uçucu kül, Atık lastikler vb.) ile beraber değerlendirildiği görülmektedir.

2.8. Çevre Dostu Beton Nedir?

Çevre dostu beton, enerji üretiminde kullanılan doğal kaynaklardan işlem sırasında meydana gelen sanayi atıklarının çevreye olan olumsuz etkisini azaltmak amacıyla beton karışımında kullanılarak üretilmiş beton türüdür. Bu tür betonlar yeşil beton olarak ta tanımlanmaktadır [58]. Elbette isminin yeşil beton olması rengi ile herhangi bir ilişkisi yoktur sadece çevreye olan olumlu etkisinden dolayıdır. Çevre dostu betonun karışımında kullanılan atıkların sadece çevreye olan etkisi değil aynı zamanda dayanım, dayanıklı ve ekonomik olarak ta katkıda bulunması unutulmamalıdır. Ortaya çıkan bu atık malzemeler beton karışımında betonun esasını oluşturan agrega ve çimento ile belli oranlarda yer değiştirerek kullanılmaktadır [59]. Dünya çapında yapılan bir değerlendirmeye göre yaklaşık yıllık 10⁹ metre küp beton üretilmektedir. Beton dayanımının artması, esasını oluşturan çimento kalitesine bağlıdır ve zamanla sertleşerek betonun dayanımını artırmaktadır. Üretilen betonun üretim esnasında ekonomik, dayanım, dayanıklı ve çevreci olması göz ardı edilmemelidir [60]. Bu nedenle üretilen betonu ne kadar çevreci olarak üretebilirsek ekonomik olarakta o kadar fayda sağlamaktadır [61]. Dünya çapında yapı sektöründe en çok kullanılan bu malzemenin esasını oluşturan çimento, beton üretiminde aşırı miktarda kullanılmaktadır. Bu nedenle aşırı miktarda çimento üretiminde ihtiyaç duyulmaktadır. Çimento

üretimi esnasında çevreyi etkileyen karbondioksit (CO₂) doğaya hem de insan sağlığına zarar vermektedir. Bu sebeple çevre dostu betonun üretiminde çimento mutlaka dikkate alınmalıdır [62]. Normal beton veya geleneksel beton, agrega, çimento ve suyun birleşmesi ile üretilmektedir. Bu tür betonun üretiminde agrega veya çimento yerinde endüstriyel atık malzemelerin kullanılması ile üretilen beton çeşitlerine, çevre dostu beton denilmektedir [63]. Atık malzemelerin normal veya geleneksel betonun karışımında kullanılması birçok avantajlar sağlamaktadır. Geleneksel betonların oluşturduğu bazı çevresel ve ekonomik dezavantajlarını azaltarak, doğadaki kaynakların tüketimini aza indirerek, üretilen betonun bazı teknik özelliklerini iyileştirerek, betonun dayanım ve dayanıklılık özelliklerine olan etkisini arttırarak, sürdürülebilir bir beton türü elde edilir. Günümüzde bu tür beton sahip olduğu bu özelliklerinden dolayı normal veya geleneksel betona göre daha çok tercih edilmektedir [64]. Çevre dostu betonun üretimi yeni olduğu için kullanımı dünya çapında beton sektöründe daha yaygın hale gelmemiştir. Bu nedenle yaygın hale gelmesi için yapılması gereken bazı hususlar vardır. Bu hususlar ise, çevre dostu betonun kullanımını, büyük projelerde yer alması için uygun standartların önerilmesini, tanıtım projelerinin fazla olmasını, çevre dostu betonun üretimi ile ilgili gereken eğitimi almasını, halkı bilinçlendirerek teşvik edilmesini sağlar. Çevre dostu betonun kullanımını daha çok yaygınlaştırmak için konu ile ilgili daha da fazla çalışmalar yapılması gerekmektedir [65]. Son yıllarda nüfusun artışı ile insanların ihtiyacı git gide artmaktadır. Bu nedenle insanların ihtiyaçlarını karşılamak için doğal kaynakların kullanımına ihtiyaç duyulmaktadır. Böylece doğal kaynakların kullanım sırasında açığa çıkan atıkların çevreye olan olumsuz etkileri görülmektedir. Bu nedenle çalışmaların asıl amacı ise insanların sağlığı, doğal kaynakların az tüketilmesi ve çevre kirliliğinin azaltılmasıdır [66]. Bu konular inşaat mühendisliğinde yapı malzemesi ana bilim dalını ilgilendirmektedir. Fakat bu kapsamda yapı malzemesi atık olarak çıkan malzemeler ile büyük sorunlar yaşamaktadır. Betonlu oluşturan doğal agregaların ve çimentoların daha da çok kullanılması, inşaatların yıkımından ortaya çıkan molozların çevre kirliliğine neden olması, doğal kaynakların tüketilmesidir. Elbette bu gibi sorunlar bir çok ülkelerde mevcuttur [67]. Avrupa ülkelerinde moloz olarak ortaya çıkan atıkların miktarı yıllık yaklaşık 180 milyon ton veya kişi başı yıllık 480 kg tahmin edilmektedir. Ortaya çıkan bu atıklar doğada açık alanlarda bırakılarak çok büyük çöplük alanların oluşumuna neden olmaktadır. Oluşan çöplük alanları bilindiği gibi çevreyi kirleterek doğaya ve insanların sağlığına ciddi manada olumsuz etkiler yaratmaktadır [68]. Bu nedenle ortaya çıkan atıkların geri dönüşümü için beton karışımında atık agregaların tekrardan kullanılması ile ilgili çalışmalar yapılmaktadır. Böylece geri dönüşümlü agregaların beton karışımında kullanılması kaynaklarının hızlı tüketilmesini önleyerek doğal kaynakların muhafaza edilmesinde büyük önem taşımaktadır [69]. Aynı zamanda çevre dostu beton için de büyük bir önem taşımaktadır. Fakat çevreyi etkileyen atıklar sadece doğal kaynaklardan değil yapay olarak üretilen malzemeler sonucu da ortaya çıkmaktadır. Yapısal olarak genel bir değerlendirme yapıldığında üretilen beton için

sürdürülebilirlik üzerinde çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalar sonucu iki önemli tema gözükmemektedir. Birinci, geri dönüşümlü malzemelerin belli oranlarda betonun içerisindeki agrega ile yer değiştirilmesi. İkinci, betonun içerisinde bağlayıcılık özelliği olan çimento ile yer değiştirmesidir. Çimento yerine ikame edilen malzemelerin bağlayıcılık özeliği yoktur. Fakat çimento ile birlikte kullanıldığı zaman bağlayıcılık özelliği taşımaktadır. Bu özelliklere sahip olan malzemeleri misal olarak, silis dumanı, uçucu kül, yüksek fırın cürufu, mermer tozu vb. söyleyebiliriz. Bu malzemelerin sahip oldukları bir çok özelliklerinden dolayı beton sektöründe kullanımı gün geçtikçe artmaktadır [70]. Türkiye’deki termik santrallerin baca filtrelerinde yığılan uçucu kül miktarı her yıl milyonları aşmaktadır [71]. Bu nedenle bu çeşit malzemelerin depolanması zordur. Aynı şekilde çamur halinde oluşan atık mermer tozunun da depolanması güçlük yaratmaktadır. Depolanması zor olan bu malzemelerin, beton karışımında kullanılması birçok fayda sağlamaktadır [72].

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1. Beton Karışımında Kullanılan Malzemeler

Beton, belirli oranlarda çimento, su, agrega ve katkı maddelerinin homojen bir şekilde karıştırılmasıyla priz süresinin tamamlayarak zamanla sertleşen bir yapı materyalidir.

Beton = Çimento + Agrega + Kimyasal Katkı + Mineral Katkı + Su + Hava'dan oluşmaktadır.

Yapılan çalışmada kullanılan bu malzemelerin özellikleri ve kullanım şekli standartlara göre uygun bir şekilde sırası ile yapılarak açıklanmaktadır.

3.1.1. Çimento

Hidrolik bağlayıcı özelliği olan su ile tepkimeye girerek zamanla katılaşılan, katkı maddeler, klinker ve klinkeri oluşturan maddelerin yüksek sıcaklık ile öğütülmesi sonucu oluşan inorganik toz malzemesidir. Sahip olduğu bağlayıcılık özelliği ile beton karışımında kullanılan agrega tanelerinin aralarındaki boşluğu doldurarak birbirine bağlayan bir malzemedir. Bir çok çeşit çimento bulunmaktadır. Bunlar, Cürufu, Sülfata Dayanıklı ve Portland Çimento olarak adlandırılmaktadır. Günümüzde inşaat sektöründe en çok tercih edilen çimento ise Portland Çimentosudur [73]. Portland çimentosu bünyesinde SiO_2 , CaO , Fe_2O_3 , Al_2O_3 gibi farklı oksitli bileşkerin içermesi, Kalker, Klinker ve Kil gibi ham maddelerin bulundurması nedeniyle kendi aralarında farklı sınıflara ayrılmaktadır. Bu sınıflandırma TS EN 197-1'e göre,

a) CEM I (PÇ), b) CEM II (PKÇ), c) CEM III (PYFÇ), d) CEM IV (PuÇ), e) CEM V (KÇ) olarak adlandırılmaktadır. Bu tip çimentolar döner fırın içerisinde 1400- 1500°C sıcaklıkta öğütülmesi sonucu üretilmektedir [74].

Bu çalışmada kullanılan çimento sınıfı CEM I 42.5 R tipidir. Bu çimentonun özellikleri fabrika tarafından TS EN 197-1'e göre üretilmiştir. Elâzığ'da bulunan Çimentaş fabrikasından temin edilerek kullanılmıştır. Çalışma sırasında hesaplanan karışım hesabına göre dikkatli bir şekilde beton karışımına katılarak beton numuneleri üretilmiştir. Yapılan deneylerde kullanılan çimentonun özellikleri Tablo 3.1, 3.2 ve 3.3 halinde verilmiştir.

Tablo 3.1. CEM I 42.5 R Tipi çimentosunun 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

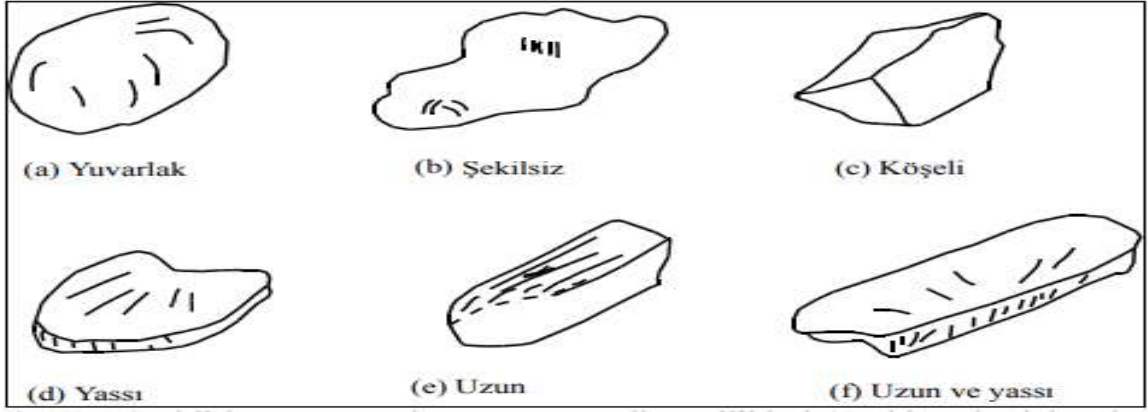
Bileşimin Özellikler	CEM I 42.5-R	TS EN 197-1 Değerleri
Özgül Ağırlık (g/cm ³)	3.650	-
K. Kaybı (%)	2.7	≤ 5
Ç.kalıntısı (%)	0.2	≤ 5
P. Başlangıcı (dk)	145	≥ 60
P. Sonu (dk)	235	-
Hacim Sabitliği (mm)	0.5	≤ 10
Serbest Kireç (%)	1.4	-
Eşdeğer Alkali (Na ₂ O+0,658K ₂ O) (%)	1.01	-
Su İhtiyacı (%)	27.8	-

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

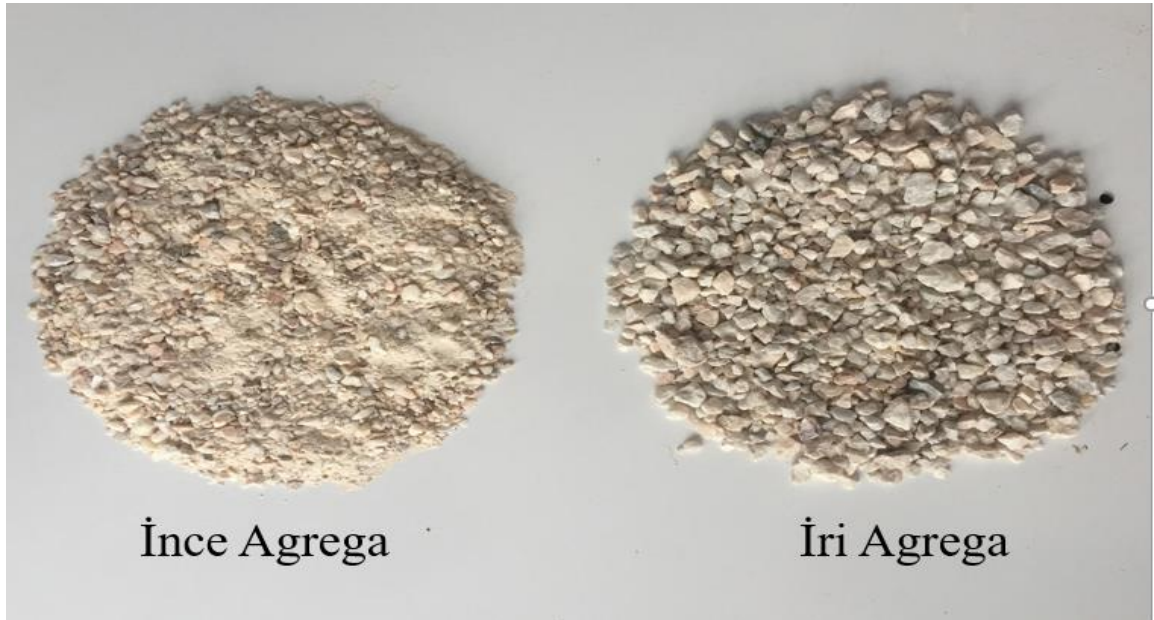
3.1.2. Agrega

Agrega değişik boyutlarda olan parçalanmış, doğal olarak bulunan veya ocaklardan yapay olarak elde edilen farklı geometrik şekillere sahip olan yapı malzemesidir. Bu malzeme beton sektöründe en çok kullanılan ve beton karışımındaki atık malzemelere göre maliyeti daha yüksek olan malzemedir. En çok kullanılan agregalar çeşitleri kum ve çakıldır. Farklı boyutlara sahip olan agregalar iri ve ince olarak sınıflandırılır. Doğal halde bulunan iri agregalar ise çakıldır. Çakıllar konkasörler yardımıyla parçalanarak köşeli ve pürüzlü yüzey olarak elde edilir. Bu malzemelere kırma taşı veya mıcır adı verilmektedir. İnce agregalar da doğal olarak bulunan kumların öğütülmesi sonucu elde edilir [75]. Beton karışımında, taze beton, dayanım ve dayanıklılık özellikleri açısından çakıl ve kum oranı, agregada dane çapının granülometrisi, agregada tanelerinin seçimi çok önemlidir. Agregada tanelerinin uzun ve düz olması beton karışımında üretilen betonun bu özelliklerine olumsuz etki yaparak gereken aderansı sağlayamamaktadır. Bu nedenle beton karışımında kullanılan agregaların tane şekli pürüzlü ve köşeli ise gereken aderansı sağlanarak çimento ile agregada harcı arasındaki mekanik yapışma özelliğinin artmasıyla betonun dayanım ve dayanıklılık özelliği artmaktadır [76,77]. Agregada tane şekillerinin görünümü Şekil 3.1’de gösterilmektedir.



Şekil 3.1. Agrega tane şekillerinin görünümü

Bu çalışmada kullanılan agrega TS 706 ve EN 12620 standartlarına uygun olarak kullanılmıştır. Elazığ'dan temin edilerek iri ve ince ikisi bir arada kırma taşı ve kalker kullanılmıştır. Kullanılan bu agreganın maksimum dane çapı 16 mm olarak seçilmektedir [78]. Kullanılan agreganın birim hacim ağırlığı 2.68 gr/cm^3 su emme oranı ise %1.2'dir [79]. Agrega granülometrisi 3 farklı (%65 İnce-%35 İri), (%55 İnce-%45 İri), (%45 İnce-%55 İri) şeklinde kullanılmıştır. Kullanılan agreganın görüntüsü Şekil 3.2'de ve granülometrisi Tablo 3.4, 3.5, 3.6 ve Grafik 3.3, 3.4, 3.5 Şeklinde sırası ile aşağıda gösterilmektedir.



Şekil 3.2. Kullanılan ince ve iri agregaların görünümü

Tablo 3.4. Agrega karışım-1' in elek analizi

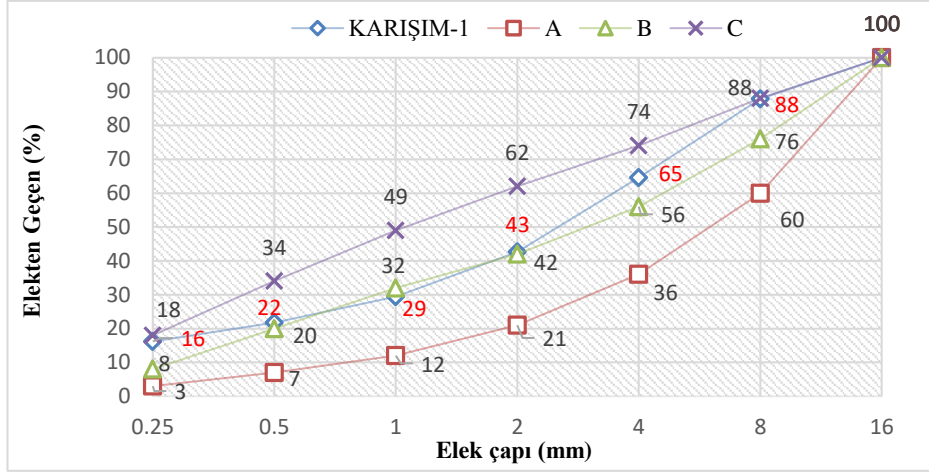
Elek Gözü Açıklığı (mm)	Elek Üstünde Kalan Toplam Malzeme (gr)	Elek Altına Geçen Toplam Malzeme (gr)	Elek Üstünde Kalan (%)	Elekten Geçen (%)
16	0	2000	0.0	100
8	114	1886.25	5.7	94
4	708	1291.6	35.4	65
2	1147	853.2	57.3	43
1	1412	588.45	70.6	29
0.5	1564	435.55	78.2	22
0.25	1676	323.6	83.8	16
Kap	2000	0	100.0	0

Tablo 3.5. Agrega karışım-2' inin elek analizi

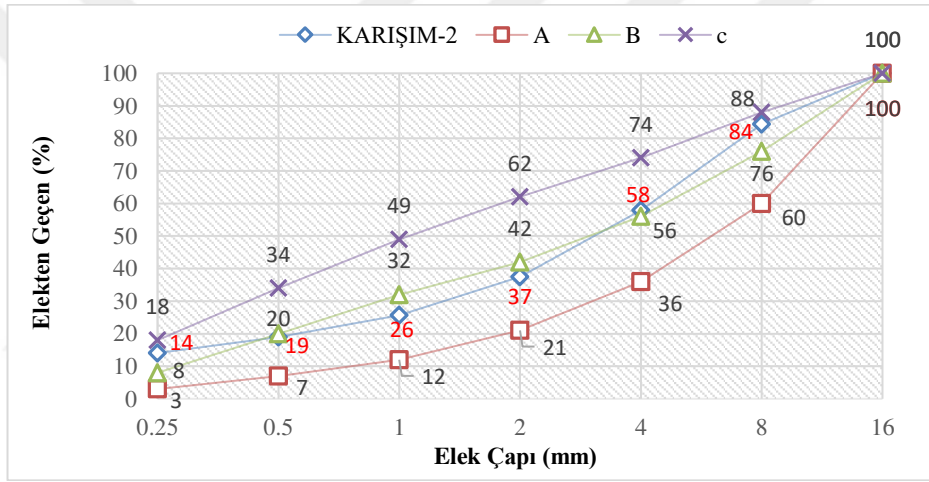
Elek Gözü Açıklığı (mm)	Elek Üstünde Kalan Toplam Malzeme (gr)	Elek Altına Geçen Toplam Malzeme (gr)	Elek Üstünde Kalan (%)	Elekten Geçen (%)
16	0	2000	0.0	100
8	146	1853.75	7.3	93
4	841	1159.2	42.0	58
2	1252	748.4	62.6	37
1	1487	513.15	74.3	26
0.5	1621	378.85	81.1	19
0.25	1719	281.2	85.9	14
Kap	2000	0	100.0	0

Tablo 3.6. Agrega karışım-3' ün elek analizi

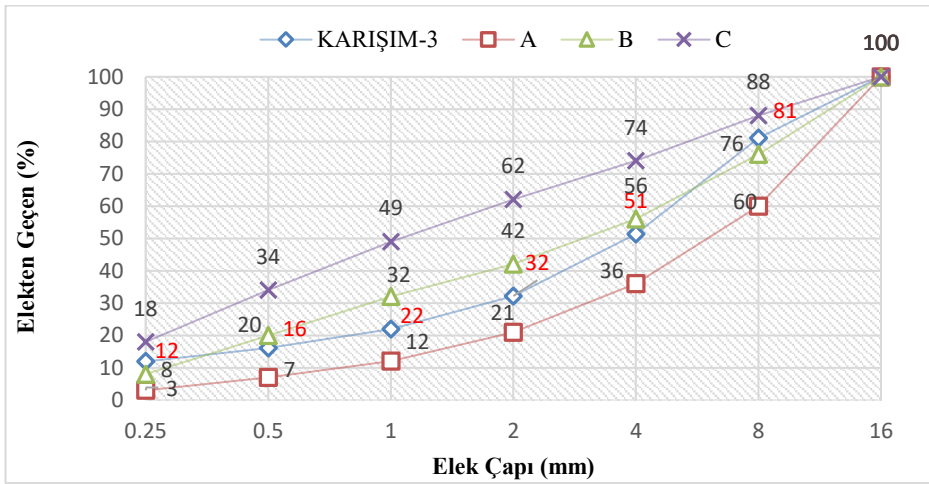
Elek Gözü Açıklığı (mm)	Elek Üstünde Kalan Toplam Malzeme (gr)	Elek Altına Geçen Toplam Malzeme (gr)	Elek Üstünde Kalan (%)	Elekten Geçen (%)
16	0	2000	0.0	100
8	179	1821.25	8.9	91
4	973	1026.8	48.7	51
2	1356	643.6	67.8	32
1	1562	437.85	78.1	22
0.5	1678	322.15	83.9	16
0.25	1761	238.8	88.1	12
Kap	2000	0	100.0	0



Şekil 3.3. Agrega karışım-1' in elek analizi grafik çizgisi



Şekil 3.4. Agrega karışım-2' in elek analiz grafik şekli



Şekil 3.5. Agrega karışım-3' ün elek analizi grafik şekli

3.1.3. Kimyasal Katkılar

Betonun bazı özelliklerini farklılaştırmak üzere, karıştırma işlemi sırasında betona, çimento ağırlığına oranla daha az miktarlarda eklenen malzemelere kimyasal katkılı malzemeler denir. Kullanılacak olan katkı malzemelerin miktarı yapılacak olan deneylere bağlı olarak değişiklik gösterir. Kimyasal katkılı malzemeler her ne kadar betonun özelliklerini değiştirse de kötü tasarlanmış betonun özelliğini iyileştiremez. Ancak iyi bir betonun özelliğini arttırabilir [80]. Beton karışımındaki su ihtiyacını azaltarak basınç, yarma ve eğilme dayanımının artmasına, geçirimsizlik ve durabilite özelliğinin iyileştirmesine, beton içerisindeki donatılarının paslanmamasına, priz hızlandırıcı, priz geciktirici ve betonun işlenebilirlik özelliklerinin artmasına katkı sağlamaktadır [81]. Kimyasal katkılı malzemenin etkisi, katkı dozajının arttırılmasıyla doğru orantılı değildir. Kimyasal katkılı malzemelerin üreticisi olan firmalar farklı tipteki katkılar için farklı dozajlar tavsiye etmektedir. Fakat önerilen dozajlar çimento dozajının %5'ni geçemez [82].

Bu çalışmada TS EN 934-2 göre üretilen, kimyasal katkı olarak kullanılan katkı maddesi ise CHRYSO® Optimal 284 Süper Akışkanlaştırıcı Katkısıdır. Bu katkı aynı zamanda yüksek oranda su azaltarak betonun işlenebilirlik özelliğini yükseltmektedir [83]. Bu katkının teknik özellikleri Tablo 3.7' de sunulmaktadır.

Tablo 3.7. 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 Katkı

Doğal veya yapay halde bulunan puzolanik maddelerdir. İnşaat sektöründe çimento üretiminde ve aynı zamanda beton üretiminde de doğrudan kullanılmaktadır. Mineral katkılar tek başlarına herhangi bir bağlayıcılık özelliği yoktur. Ama beton içerisindeki Kalsiyum hidroksit $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ile tepkimeye girerek bağlayıcılık özelliğe sahip olan puzolanik maddelerdir [84]. Puzolanik özelliğe sahip olan malzemeleri TS EN 197-1 2002'e göre tanımını yapacak olursak alüminyum silikat, silis veya ikisinin birleşmesi ile oluşan doğal malzemelerdir. Normalde su ile karıştırıldığında katılaşmaz ama öğütüldüğü zaman normal sıcaklıkta sulu bir ortamda Kalsiyum hidroksit $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ile tepkimeye girerek dayanım kazanmaktadırlar. Puzolanik malzemelerin esasını oksitli bileşkerler oluşturmaktadır. Alüminyum Oksit (Al_2O_3), Silisyum dioksit (SiO_2), demir (III) oksit (Fe_2O_3)'lerdir. Kütlece Silisyum dioksit (SiO_2) miktarı %25'den fazla olmalıdır [85]. Bu

malzemeye puzolanik özelliği kazandıran bazı nitelikler, bünyesinde bulunduran Alüminyum Oksit (Al_2O_3), Silisyum dioksit (SiO_2), demir (III) oksit (Fe_2O_3)'ler, inceliği ve kristal bir yapıya sahip olmamasıdır. Puzolanik olan maddelerin Sahip olduğu bu nitelikleri bazı kimyasal, fiziksel, mekanik ve puzolanik etkinlik deneyler metodu ile belirlenmektedir. Puzolanik özelliği belirlemek için en çok etki eden husus ise maddenin özgül yüzeyi ve kimyasal bileşimidir [86]. Puzolanik olan malzemeler oluşum yapısına göre doğal ve yapay olarak iki sınıfa ayrılmaktadır. Bu sınıflandırma Tablo 3.8. sunulmaktadır.

Tablo 3.8. 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 Kabuğu Külü
Diatome Toprağı	Demir İçermeyen Cüruflar
Mermer Tozu	-

Bu çalışmada mineral katkı olarak atık mermer tozu kullanılmıştır. Elâzığ Organize Sanayisinde Çamur atığı olarak çevreye bırakılan bölgeden temin edilmiştir. Temin edilen atık mermer çamuru ilk önce açık havada bırakılarak kurutulmuştur daha sonra Los Angeles aşınma cihazı ile öğütülerek toz haline getirilmiştir. Mineral olarak kullanılan bu malzemenin görüntüsü Şekil 3.6'da, fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 3.9'de sunulmuştur [87].

Tablo 3.9. Atık mermer tozunun fiziksel ve kimyasal özellikleri

Özellikler	Değerler
CaO (%)	40.45
SiO_2 (%)	28.35
Fe_2O_3 (%)	9.7
MgO (%)	16.25
Yoğunluk (gr/cm^3)	2.71



Şekil 3.6. Kullanılan mermer tozunun görüntüsü

3.1.5. Karışım Suyu

Beton üretiminde kullanılan karışım suyunun önemli iki görevi vardır. Kuru halde olan çimentoyu ve agregayı plastik, işlenebilir malzeme haline getirir. Çimentoyla kimyasal reaksiyon yaparak plastik halde ki malzemenin sertleşmesini sağlar [88]. Beton karışımında kullanılan suyun pH derecesi 7'nin altında olmalıdır. Aynı zamanda suyun organik maddeler içermemesi de söz konusudur. Organik maddeler içerdiği takdirde betonun sertleşmesini geciktirebilir [89].

Yapılan çalışmada beton karışımında kullanılan su, Elâzığ ilinin şebeke suyundan temin edilerek TS EN 1008'e göre kullanılmıştır [90].

3.1.6. Hava

Beton karışımında hava miktarını %2 kabul edilerek hesaplanmaktadır. Üretilmiş beton mutlaka hava boşluğu içerir ve bu boşluklar ise katkı malzemelerle doldurulur. Betonda hava miktarının artışı beton dayanım ve dayanıklılık özelliklerini olumsuz etkilemektedir.

3.2. Karışım Hesabı

Karışım hesapları, betonu elde edebilmek için gerekli olan malzeme miktarlarını ve karışımdaki oranlarını belirler.

3.2.1. Atık Mermer Tozu Kullanılarak Üretilen Çevre Dostu Betonların Karışım Hesapları

Bu çalışmada beton karışımında kullanılan atık mermer tozu, toplam hacmin (1000 dm^3)' ün yüzdesi olarak orta ve ince agrega yerinde hacimce belli oranlarda (%2 ve %4) şeklinde yer değiştirilerek ikame edilmektedir. Karışım hesapları TS 802'ye göre dikkatli bir şekilde hesap

yapılarak hazırlanmıştır. Karışımın maksimum agrega dane çapı 16 mm seçilmiştir. Kullanılan agrega kaba ve ince agrega olarak yüzde olarak 3 farklı agrega granülometrisi şeklinde hesap yapılmıştır. Çimento dozajı 350 (kg/m³) ve 425 (kg/m³), Su/Çimento oranı 0.55 ve kimyasal katkı da çimento miktarının %1.2'si oranında kullanılmıştır. Kullanılan agreganın yoğunluğu 2.68 gr/cm³, mermer tozunun yoğunluğu 2.71 gr/cm³ tür, Böylece formül (3.1) ' ye göre Tablo 3.10' de ki karışım hesap değerleri yapılmaktadır.

$$1000\text{dm}^3 = \frac{C}{\gamma_c} + V_{\text{Atop}} + V_{\text{mt}} + W + \%2H + \text{Katkı} \quad (3.1)$$

Burada,

$$V_{\text{Atop}} = (V_{\text{kaba}} + V_{\text{ince}})$$

$$V_{\text{mt}} = \% \left(\frac{MT}{\gamma_{\text{mt}}} \right) \times V_{\text{top}}$$

Tablo 3.10. 3 Farklı granülometriye göre mermer tozu kullanılmış çevre dostu betonların karışım hesabı

Granülometri	Seri İsimleri	Ç (Kg/m ³)	S/Ç (Kg/m ³)	SP (%)	SP (kg/m ³)	MT (%)	MT (kg/m ³)	SU (kg/m ³)	İri Ag (kg/m ³)	İnce Ag (kg/m ³)
I (%65 İnce %35 İri)	350-0.55-MT0	350	0.55	1.2	4.2	0	0.00	192.50	632.80	1175.15
	350-0.55-MT2	350	0.55	1.2	4.2	2	54.20	192.50	614.01	1140.31
	350-0.55-MT4	350	0.55	1.2	4.2	4	108.40	192.50	595.25	1105.47
II (%55 İnce %45 İri)	350-0.55-MT0	350	0.55	1.2	4.2	0	0.00	192.50	813.56	994.36
	350-0.55-MT2	350	0.55	1.2	4.2	2	54.20	192.50	789.44	964.88
	350-0.55-MT4	350	0.55	1.2	4.2	4	108.40	192.50	765.32	935.40
III (%45 İnce %55 İri)	350-0.55-MT0	350	0.55	1.2	4.2	0	0.00	192.50	994.36	813.56
	350-0.55-MT2	350	0.55	1.2	4.2	2	54.20	192.50	964.88	789.44
	350-0.55-MT4	350	0.55	1.2	4.2	4	108.40	192.50	935.40	765.32
I (%65 İnce %35 İri)	425-0.55-MT0	425	0.55	1.2	5.1	0	0.00	233.75	571.39	1061.15
	425-0.55-MT2	425	0.55	1.2	5.1	2	54.20	233.75	552.63	1026.31
	425-0.55-MT4	425	0.55	1.2	5.1	4	108.40	233.75	533.87	991.46
II (%55 İnce %45 İri)	425-0.55-MT0	425	0.55	1.2	5.1	0	0.00	233.75	734.64	897.89
	425-0.55-MT2	425	0.55	1.2	5.1	2	54.20	233.75	710.52	868.41
	425-0.55-MT4	425	0.55	1.2	5.1	4	108.40	233.75	686.40	838.93
III (%45 İnce %55 İri)	425-0.55-MT0	425	0.55	1.2	5.1	0	0.00	233.75	897.89	734.64
	425-0.55-MT2	425	0.55	1.2	5.1	2	54.20	233.75	868.41	710.52
	425-0.55-MT4	425	0.55	1.2	5.1	4	108.40	233.75	838.93	686.40

3.3. Deney Metotları ve Sonuçlar

Üretilen beton numunelerinin dayanım ve dayanıklılığı hakkında bilgi edinmek için, bazı testlere tabi tutulması gerekmektedir. Bu tez çalışmasında kullanılan testler sırası ile uygulanarak elde edilen sonuçlar tablolar halinde gösterilmektedir.

3.3.1. Taze Betonda Yapılan Deney Metotları ve Sonuçlar

Taze betonda kullanılan deney metotları üretilen beton numunelerinin kalitesini ve işlenebilirliğini belirlemek için kullanılan metotlardır.

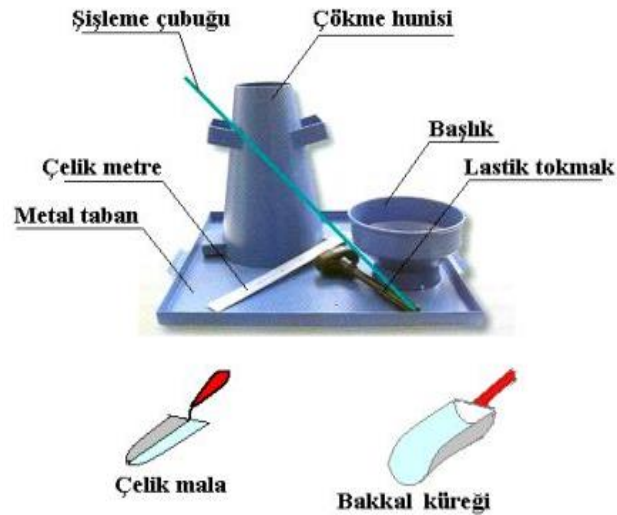
a. Çökme (Slump) Deneyi

Çökme (Slump), taze betonun özelliklerinden biridir. Betonlu oluşturan, çimento, agrega, katkı malzemeler ve suyun karıştırılması ile oluşan beton karışımı ilk başta şekil verebilme ve kolay işlenebilme özelliklerine sahiptir. Çökme değeri, beton karışımındaki çimento ve agrega arasında segregasyon olayı yaşanmadan ne kadar yüksek ise o kadar şekil verebilme ve kolay işlenebilme özellikleri yüksek demektir. Fakat çimento ile su reaksiyona girerek zamanla sertleşmeye başlar ve şekil verilmez hale gelir. Bu nedenle beton taze iken işlenebilirliğinin artması için beton karışımında kimyasal katkıları kullanılmaktadır. Aslında beton karışımında kullanılan kimyasal katkıların amacı üretilen betonun kıvamını artırmaktır. Betonun kıvamı, üretilen betonun taze iken işlenebilirlik derecesine denir. Üretilen betonun kıvamı ne kadar yüksek ise işlenebilirliği o kadar yüksek anlamına gelir. Taze beton kıvamının yüksek olması karışım oranındaki suyun artması anlamında gelmemektedir. Eğer karışım oranındaki su gereğinden fazla olursa beton karışımındaki agrega ile çimento arasında bir ayrışma (segregasyon) meydana gelir. Böylece işlenebilirliğin zor olmasına ve beton dayanımının azalmasına neden olmaktadır. Üretilen betonun kıvamına etki eden faktör ise beton kütleindeki kayma kuvvetleridir [91]. TS EN 206-1'e göre taze betonun kıvam sınıfları, Tablo 3.11'de verilmiştir.

Tablo 3.11. Taze betonun kıvam sınıfları [92]

Kıvam Sınıfları	Çökme Değerleri
S ₁	$10 \leq \text{çökme} < 40$
S ₂	$50 \leq \text{çökme} < 90$
S ₃	$100 \leq \text{çökme} < 150$
S ₄	$160 \leq \text{çökme} < 210$
S ₅	$220 \leq \text{çökme}$

Yapılan bu çalışmada çökme deneyi, TS EN 12350-2'e göre yapılmıştır. Deneyin yapılışı için gereken ekipmanlar, Çökme hunisi, Metal tepsi, Şişleme çubuğu, Mala, Metre, Kürek, Başlık ve Tokmaktır. Yapılan çalışmada yapılması gereken işlemler sırası ile düzenli bir şekilde deney süresince yapılarak takip edilmektedir. İlk başta deneyde kullanılan, Çökme hunisi, Metal tepsi, Şişleme çubuğu, Başlık ve beton numune kalıplarının normal kalıp yağı ile temiz bir bez kullanılarak yağlanmıştır. Daha sonra çökme hunisi metal tepsinin taban kısmında yerleştirilip betonun döküm esnasında çökme hunisinin taban kısmında bulunan parça üzerine basarak döküm yapılmaktadır. Döküm işlemi üç tabak halinde eşit bir şekilde doldurularak yapılmaktadır. Her tabakadan sonra sıkıştırma işlemi şişleme çubuğu ile 25 defa yapılarak uygulanmaktadır. Vuruş esnasında çubuğun düşey bir şekilde tutularak, ikinci ve üçüncü tabakada uygulanırken her tabakanın kendinden önceki tabakanın yüzeyine hafifçe batırılarak yapılmaktadır. Doldurma işleminden sonra çökme hunisinin üst kısmı mala ile düzleştirilerek el tutamaklarından tutularak düzgün ve sabit hızla hafifçe kaldırılmaktadır. Kaldırma işleminin (5-10) sn arasında yapılmasına dikkat edilmektedir. Çökme hunisinin doldurma işleminin başlangıcı ile kaldırma işlemine kadar olan süre 150 sn içerisinde olmuştur. Böylece betonun üst kısmından çökme hunisinin üst kısmına kadar olan çökme değeri metre ile ölçülerek kaydedilmiştir [93,47]. Bu değerler, Tablo 3.12' de yazılmaktadır. Deney ekipmanları ve deney yapılırken çekilen fotoğraf sırası ile Şekil 3.7 ve 3.8' de gösterilmektedir



Şekil 3.7. Çökme (slump) deneyi ekipmanları



Şekil 3.8. Çökme (slump) deneyi ölçüm anındaki görünüm

Tablo 3.12. Yapılan deneylerin çökme değerleri

Agrega Karışım Oranı	Seri İsimleri	Çökme Değerleri (cm)	Seri İsimleri	Çökme Değerleri (cm)
I (%65 İnce-%35 İri)	350-0.55-MT0	17	425-0.55-MT0	19
	350-0.55-MT2	19	425-0.55-MT2	21
	350-0.55-MT4	21	425-0.55-MT4	23
II (%55 İnce-%45 İri)	350-0.55-MT0	15	425-0.55-MT0	17
	350-0.55-MT2	17	425-0.55-MT2	19
	350-0.55-MT4	19	425-0.55-MT4	21
III (%45 İnce-%55 İri)	350-0.55-MT0	13	425-0.55-MT0	15
	350-0.55-MT2	15	425-0.55-MT2	17
	350-0.55-MT4	17	425-0.55-MT4	19

b. Yaş Birim Hacim Ağırlık

Betonun yaş birim hacim ağırlığı, birim hacminde yerleşen taze betonun ağırlığıdır. Genelde birimi kg/m^3 veya ton/m^3 şeklinde gösterilmektedir. Üretilen betonların birim hacim ağırlıklarının azalması veya fazla olması karışımında bulunduran malzemelerin özelliklerine, karışımın granülometresine, ve döküm sırasında karışımın sıkıştırma işlemine göre değişmektedir. Bu çalışmada yapılan betonun yaş birim hacim ağırlığı TS 2941'e göre uygun bir şekilde yapılmaktadır [94]. Üretilen numunelerin yaş birim hacim ağırlık değerleri (3.2) Formülüne göre hesaplanmıştır ve bu değerler, Tablo 3.13' da sunulmaktadır.

$$\text{Yaş Birim Ağırlık} = \frac{\text{Numune Yaş Ağırlığı}}{\text{Numune Hacmi}} \quad \frac{(\text{kg})}{(\text{m}^3)} \quad (3.2)$$

Tablo 3.13. Yaş birim hacim ağırlık değerleri

Agrega Karışım Oranı	Seri İsimleri	Birim ağırlık ($\frac{kg}{m^3}$)	Seri İsimleri	Birim ağırlık ($\frac{kg}{m^3}$)
I (%65 İnce-%35 İri)	350-0.55-MT0	2.406	425-0.55-MT0	2.419
	350-0.55-MT2	2.412	425-0.55-MT2	2.424
	350-0.55-MT4	2.428	425-0.55-MT4	2.437
II (%55 İnce-%45 İri)	350-0.55-MT0	2.396	425-0.55-MT0	2.415
	350-0.55-MT2	2.406	425-0.55-MT2	2.419
	350-0.55-MT4	2.422	425-0.55-MT4	2.429
III (%45 İnce-%55 İri)	350-0.55-MT0	2.384	425-0.55-MT0	2.405
	350-0.55-MT2	2.394	425-0.55-MT2	2.412
	350-0.55-MT4	2.410	425-0.55-MT4	2.423

3.3.2. Sertleşmiş Betonun Metod ve Deneyleri**a. Kuru Birim Hacim Ağırlık**

Betonun kuru birim hacim ağırlığı, birim hacminde yerleşen kuru betonun ağırlığıdır. Genelde birimi kg/m^3 veya ton/m^3 şeklinde gösterilmektedir. Üretilen betonların birim hacim ağırlıklarının azalması veya fazla olması karışımında bulunduran malzemelerin özelliklerine, döküm sırasında karışımın sıkıştırma işlemine göre değişmektedir. Bu çalışmada yapılan betonun kuru birim hacim ağırlığı TS 2941'e göre uygun bir şekilde yapılmaktadır. Üretilen numunelerin kuru birim hacim ağırlık değerleri (2) Formülüne göre hesaplanmıştır ve bu değerler, Tablo 3.14'da sunulmaktadır.

$$\text{Birim ağırlık} = \frac{\text{Numune Kuru Ağırlığı}}{\text{Numune Hacmi}} \quad \frac{(kg)}{(m^3)} \quad (3.3)$$

Tablo 3.14. Kuru birim hacim ağırlık değerleri

Agrega Karışım Oranı	Seri İsimleri	Birim ağırlık ($\frac{kg}{m^3}$)	Seri İsimleri	Birim ağırlık ($\frac{kg}{m^3}$)
I (%65 İnce-%35 İri)	350-0.55-MT0	2.391	425-0.55-MT0	2.406
	350-0.55-MT2	2.404	425-0.55-MT2	2.416
	350-0.55-MT4	2.423	425-0.55-MT4	2.428
II (%55 İnce-%45 İri)	350-0.55-MT0	2.373	425-0.55-MT0	2.392
	350-0.55-MT2	2.385	425-0.55-MT2	2.406
	350-0.55-MT4	2.398	425-0.55-MT4	2.419
III (%45 İnce-%55 İri)	350-0.55-MT0	2.357	425-0.55-MT0	2.376
	350-0.55-MT2	2.375	425-0.55-MT2	2.388
	350-0.55-MT4	2.385	425-0.55-MT4	2.398

b. Üretilen Betonun Kürleme Metodu

Daha kaliteli ve özellikle erken yaşlarda daha dayanımlı bir beton elde etmek için, üretilen betonun döküm işleminden sonra hidrasyonun olayı sağlanarak uygun şartlarda bakımının

yapılmasına betonun kürlemesi denir. Betonun kürlemesi için gereken sıcaklık ve hidrasyon olayı için çevre koşullarına bağlı olarak yeterli su miktarının mevcut olması gerekmektedir. TS EN 12390-2 Standardın belirlediği en uygun kürleme ortamı, kirece doymuş sulu ortamdır ve ortamın sıcaklığı da ($20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$)’de olmalıdır. Erken yaşlarda sıcaklığının Kür sıcaklığına göre 4°C düşük olması, daha yüksek dayanımlı bir betonun üretilmesinin mümkün oluşu görülmüştür [95-97].

Yapılan bu çalışmada kürleme işlemi TS EN 12390-2’ye göre yapılmıştır. Beton numuneleri beton dökümünden 24 saat sonra kalıplardan çıkarılarak kirece doymuş ve sıcaklık derecesi 20°C olan ortamda kür havuzuna bırakılmıştır. Şekil 3.9’ de üretilen betonun kürleme görüntüsü gösterilmektedir.



Şekil 3.9. Üretilen betonun kürleme görüntüsü

c. Geri Sıçrama (Test Çekici) Deneyi

Bu deney yöntemi genelde Test Çekici (Schmidt Çekici) olarak tanımlanmaktadır. Sertleşmiş betonun dayanımını belirlemek için kullanılan tahribatsız test yöntemlerinden biridir. Bu yöntem pratik bir şekilde bize üretilen betonun dayanım ve dayanıklılık hakkında bilgi vermektedir. Yapılan bu çalışmada geri sıçrama değerinin tayini TS EN 12504-2’ ye göre uygun bir şekilde yapılmaktadır. Deneye tabi tutulan numunelerin boyutu ($150 \times 150 \times 150$) mm’dir. Aynı seriden ikişer numune üzerinde uygulanmıştır. Deney yapılırken deney numuneleri beton basınç makinesi ile sabit bir şekilde tutularak numunenin yüzeyine farklı 5 noktadan 90° açı ile vuruş yapılmaktadır. Elde edilen değerlerin ortalama R değerleri kaydedilmektedir. Bu değerlere göre betonun dayanımı ve dayanıklılığı hakkında bilgi edinilmektedir [98]. Şekil 3.10’da yapılan çalışmanın test çekici görüntüsü verilmiştir. Elde edilen test çekici değerleri Tablo 3.15, 3.16 ve 3.17’de aşağıda sunulmaktadır.



Şekil 3.10. Geri sıçrama deneyinin görüntüsü

Tablo 3.15. (3) Günlük geri sıçrama deneylerinin değerleri

Agrega Karışım Oranı	Seri İsimleri	R-Değerleri (mm)	Seri İsimleri	R-Değerleri (mm)
I (%65 İnce-%35 İri)	350-0.55-MT0	34.5	425-0.55-MT0	36.5
	350-0.55-MT2	36.0	425-0.55-MT2	37.5
	350-0.55-MT4	37.0	425-0.55-MT4	38.5
II (%55 İnce-%45 İri)	350-0.55-MT0	32.5	425-0.55-MT0	34.5
	350-0.55-MT2	33.0	425-0.55-MT2	35.5
	350-0.55-MT4	34.5	425-0.55-MT4	37.5
III (%45 İnce-%55 İri)	350-0.55-MT0	31.5	425-0.55-MT0	33.5
	350-0.55-MT2	32.0	425-0.55-MT2	34.0
	350-0.55-MT4	33.5	425-0.55-MT4	35.0

Tablo 3.16. (7) Günlük geri sıçrama deneylerinin değerleri

Agrega Karışım Oranı	Seri İsimleri	R-Değerleri (mm)	Seri İsimleri	R-Değerleri (mm)
I (%65 İnce-%35 İri)	350-0.55-MT0	35.5	425-0.55-MT0	37.5
	350-0.55-MT2	37.0	425-0.55-MT2	39.0
	350-0.55-MT4	37.5	425-0.55-MT4	40.0
II (%55 İnce-%45 İri)	350-0.55-MT0	34.5	425-0.55-MT0	35.5
	350-0.55-MT2	35.5	425-0.55-MT2	36.5
	350-0.55-MT4	36.5	425-0.55-MT4	38.0
III (%45 İnce-%55 İri)	350-0.55-MT0	33.5	425-0.55-MT0	35.0
	350-0.55-MT2	34.0	425-0.55-MT2	35.0
	350-0.55-MT4	34.5	425-0.55-MT4	35.5

Tablo 3.17. (28) Günlük geri sıçrama deneylerinin değerleri

Agrega Karışım Oranı	Seri İsimleri	R-Değerleri (mm)	Seri İsimleri	R-Değerleri (mm)
I (%65 İnce-%35 İri)	350-0.55-MT0	37.5	425-0.55-MT0	41.0
	350-0.55-MT2	39.0	425-0.55-MT2	42.5
	350-0.55-MT4	40.5	425-0.55-MT4	44.0
II (%55 İnce-%45 İri)	350-0.55-MT0	36.5	425-0.55-MT0	38.0
	350-0.55-MT2	37.5	425-0.55-MT2	39.0
	350-0.55-MT4	38.5	425-0.55-MT4	40.5
III (%45 İnce-%55 İri)	350-0.55-MT0	35.5	425-0.55-MT0	36.5
	350-0.55-MT2	36.5	425-0.55-MT2	37.5
	350-0.55-MT4	37.5	425-0.55-MT4	38.5

d. Sertleşmiş Beton Dayanımının Ultrases Geçiş Hızı İle Belirlenmesi

Bu cihaz ile beton numunelerinin dayanım ve dayanıklılığı hakkında bilgi edinmek için daha kolay ve daha pratik bir yöntemdir. Ultrases geçiş hızı uygulanması, beton numunelerinin iki yüzeyinden dalgaların yayılma hızı ile gerçekleşmektedir. Ultrases geçiş hızı cihazı, numunelerin bir yüzeyinden değer yüzeyine gönderilen ses üstü dalgaların geçme süresinin belirlemek için kullanılmaktadır. Dalgaların yayılma hızının süresi, dalgaların gönderildiği transdüser ile dalgaların alındığı transdüser arasındaki mesafeye ve numunelerin boşluk oranına bağlıdır. Eğer transdüserlerin aralarındaki mesafe uzaksa veya numunelerin boşluk oranı fazla ise, ultrases geçiş dalga hızı o kadar geç ulaşır. Böylece üretilen beton numunelerinin dayanımı hakkında bize bilgi verebilmektedir. Aynı zamanda bu test cihazı bir yapının basınç dayanımı, elastiste modülü ve çatlakların mevcut olmasına dair bilgi alabilmek için kullanılabilir. Ultrases geçiş hızı cihazı, dalga gönderici transdüser ile dalga alıcı transdüser arasındaki mesafeyi ne kadar sürede tamamladığını cihazın üzerindeki ekranda mikro saniye birimi ile göstermektedir. Geçiş dalga hızını (V), Elastiste modülü (E) ve yoğunluğu da (D) ile gösterilmektedir [99]. Elde ettiğimiz değerlere göre hız değerleri formül (3.4)' e göre hesaplanmaktadır.

$$\text{Hız (V)} = \frac{s}{t} \times 10^6 \left(\frac{\text{km}}{\text{s}} \right) \quad (3.4)$$

V = Ultrases geçiş dalga hızı (km/s),

s = Transdüserler arasındaki mesafe (m),

t = Dalga'nın gönderildiği yüzeyinden, alındığı yüzeye kadar geçen zaman (μs).

Bu formül ile hesaplanan değerlere göre betonun kalitesini tahmin etmek için, Tablo 3.18 kullanılmaktadır ve yapılan çalışmanın ultrases geçiş dalga hızının deney esnasında çekilen görüntü Şekil 3.11'de gösterilmektedir. Elde edilen sonuçlar ise Tablo 3.19, 3.20 ve 3.21'de sunulmaktadır.



Şekil 3.11. Ultrases geçiş hızı görüntüsü

Tablo 3.18. Üretilen betonun kalitesinin tahmini

Ultrases Geçiş Hızı (km/s)	Beton Kalitesi
> 4.5	Mükemmel
3.5-4.5	İyi
3.0-3.5	Şüpheli
2.0-3.0	Zayıf
< 2.0	Çok Zayıf

Tablo 3.19. Üretilen betonun 3 günlük ultrases geçiş hız değerleri

Agrega Karışım Oranı	Seri İsimleri	V-Değerleri (km/sn)	Seri İsimleri	V-Değerleri (km/sn)
I (%65 İnce-%35 İri)	350-0.55-MT0	4.00	425-0.55-MT0	3.88
	350-0.55-MT2	3.85	425-0.55-MT2	3.76
	350-0.55-MT4	3.72	425-0.55-MT4	3.66
II (%55 İnce-%45 İri)	350-0.55-MT0	4.21	425-0.55-MT0	4.09
	350-0.55-MT2	4.02	425-0.55-MT2	3.92
	350-0.55-MT4	3.89	425-0.55-MT4	3.60
III (%45 İnce-%55 İri)	350-0.55-MT0	4.41	425-0.55-MT0	4.22
	350-0.55-MT2	4.22	425-0.55-MT2	4.08
	350-0.55-MT4	4.12	425-0.55-MT4	3.78

Tablo 3.20. Üretilen betonun 7 günlük ultrases geçiş hız değerleri

Agrega Karışım Oranı	Seri İsimleri	V-Değerleri (km/sn)	Seri İsimleri	V-Değerleri (km/sn)
I (%65 İnce-%35 İri)	350-0.55-MT0	3.74	425-0.55-MT0	3.64
	350-0.55-MT2	3.66	425-0.55-MT2	3.56
	350-0.55-MT4	3.58	425-0.55-MT4	3.42
II (%55 İnce-%45 İri)	350-0.55-MT0	3.92	425-0.55-MT0	3.84
	350-0.55-MT2	3.86	425-0.55-MT2	3.72
	350-0.55-MT4	3.74	425-0.55-MT4	3.56
III (%45 İnce-%55 İri)	350-0.55-MT0	4.08	425-0.55-MT0	4.02
	350-0.55-MT2	4.02	425-0.55-MT2	3.88
	350-0.55-MT4	3.92	425-0.55-MT4	3.70

Tablo 3.21. Üretilen betonun 28 günlük ultrases geçiş hız değerleri

Agrega Karışım Oranı	Seri İsimleri	V-Değerleri (km/sn)	Seri İsimleri	V-Değerleri (km/sn)
I (%65 İnce-%35 İri)	350-0.55-MT0	3.64	425-0.55-MT0	3.56
	350-0.55-MT2	3.58	425-0.55-MT2	3.48
	350-0.55-MT4	3.49	425-0.55-MT4	3.38
II (%55 İnce-%45 İri)	350-0.55-MT0	3.82	425-0.55-MT0	3.74
	350-0.55-MT2	3.74	425-0.55-MT2	3.62
	350-0.55-MT4	3.62	425-0.55-MT4	3.51
III (%45 İnce-%55 İri)	350-0.55-MT0	4.00	425-0.55-MT0	3.88
	350-0.55-MT2	3.91	425-0.55-MT2	3.78
	350-0.55-MT4	3.78	425-0.55-MT4	3.68

e. Yarma Deneyi (Yarmada Çekme Deneyi)

Bu çalışmada yapılan yarma deneyi TS EN 12390-6' e göre uygun bir şekilde yapılmaktadır. Deneyin uygulandığı numune şekli 150×150×150 mm boyutuna sahip küp numunelerdir. Deney yapılırken önce demir plakalar üzerine basınç yükünün bir doğrultu boyunca düz bir şekilde etki etmesi için 15cm uzunluğu 1cm genişliğine sahip ahşap tahtası yapıştırılmıştır. Daha sonra numuneler basınç makinesinin üzerine düzgün bir şekilde yerleştirilerek basınç uygulanmıştır ve uygulanan basınç numune üzerine yükleme doğrultusuna dik bir şekilde çekme kuvveti oluşturmaktadır. Numune, çekme kuvvetinin meydana getirdiği çekme gerilmesi neticesinde parçalanmaktadır. Böylece basınç değerleri kN/mm² olarak kaydedilmiştir elbette elde ettiğimiz değerler bizi net sonuca ulaştırması için üzerinde bazı matematiksel işlemler yapılmaktadır. Bu işlemlerin yapılması için gereken formül (3.5)'te ve elde edilen sonuçlar Tablo 3.27' de gösterilmektedir.

$$f_{ct} = \frac{2 \times F}{(\pi \times A)} \left(\frac{N}{m^2} \right) (MPa) \quad (3.5)$$

Burada;

f_{ct} : Betonun yarmada çekme dayanımı,

F: Uygulanan yük (N)

A: Numunenin alanı olarak ifade edilmektedir (mm)² [100] .



Şekil 3.12. Yarma deneyi (yarmada çekme deneyi) görünüşü

Tablo 3.22. Üretilen betonun 28 günlük yarma değerleri numune boyutu (150×150×150) mm

Agrega Karışım Oranı	Seri İsimleri	Basınç Değerleri (MPa)	Seri İsimleri	Basınç Değerleri (MPa)
I (%65 İnce-%35 İri)	350-0.55-MT0	4.17	425-0.55-MT0	4.44
	350-0.55-MT2	4.47	425-0.55-MT2	4.70
	350-0.55-MT4	4.71	425-0.55-MT4	4.90
II (%55 İnce-%45 İri)	350-0.55-MT0	4.11	425-0.55-MT0	4.32
	350-0.55-MT2	4.28	425-0.55-MT2	4.47
	350-0.55-MT4	4.39	425-0.55-MT4	4.63
III (%45 İnce-%55 İri)	350-0.55-MT0	3.94	425-0.55-MT0	4.22
	350-0.55-MT2	4.17	425-0.55-MT2	4.35
	350-0.55-MT4	4.27	425-0.55-MT4	4.49

f. Basınç Deneyi

Üretilen beton numunelerinin dayanımını belirlemek için tahribatlı (basınç, yarma, çekme) test metodları ve dayanıklılığını belirlemek için de tahribatsız (smith test çekici, ultrases geçiş hızı, aşınma, kılcallık...) gibi test metodları uygulanmaktadır. Betonun yarma dayanımı betonun basınç dayanımına kıyasla %(35-80), çekme dayanımının basınç dayanımına kıyasla %10'u kadardır [101]. Üretilen betonun kalitesini belirlemek için durabilite ve kılcallık gibi nitelikleri ne kadar önemli ise de ama en önemli testlerden biri betonun basınç dayanım testidir [102, 103]. Basınç dayanımının belirlenmesi ile betonun durabilite, kılcallık, yarma, çekme ve dış faktörlere karşı dayanıklılık özellikleri hakkında da yardımcı olacak bilgiler edinilebilmektedir [104]. Betonun basınç dayanımı, yatay ve düşey basınç yükleri altında kırılmadan gösterdiği dirence denir. Betonun basınç dayanımı, betonun diğer mekanik özellikleri arasında en mühim olanıdır. Beton sadece basınca karşı çalışır çekmeye karşı dayanımı çok zayıftır. Yapı sektöründe çekme gerilmesini karşılamak için çelik donatılar ile beraber kullanılmaktadır. Basınç dayanımı yüksek olan

betonların, durabilite ve geçirimsizlik özellikleri daha yüksek, dış etkenlere karşı daha dayanıklı, aşınmaya karşı daha dirençlidir. Bu nedenle üretilen betonun kalitesi ilk başta basınç dayanımı ile tanımlanmaktadır [96]. Betonun basınç altındaki davranışının belirlenmesi için malzemenin gerilme-birim şekil değiştirme ($f_c - \epsilon_c$) özellikleri çok önemlidir. Bu özellikler eğriler şeklinde standart beton numunelerinin eksenel basınç altındaki testler ile elde edilmektedir [105]. Bu testler Tablo 3.23’de gösterilmektedir.

Tablo 3.23. TS EN 206-1. Standart beton sınıfları ve dayanımları [106]

Basınç Dayanım Sınıfları	karakteristik Silindir Dayanımı $f_{ck, sil}$ (MPa)	karakteristik küp dayanımı $f_{ck, küp}$ (MPa)
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

Yapılan bu çalışmada basınç testi TS EN 12390-3’e göre en iyi bir şekilde yapılmaktadır. Deneye tabi tutulan numuneler iki farklı boyutlara sahip 150×150×150 mm ve 100×100×100 mm küp numunelerdir. Her seriden ikişer numune üzerinde uygulanmaktadır. Elde edilen sonuçlar numunelerin ortalama değerlerine göre değerlendirilerek kaydedilmektedir. Kaydedilen değerlere göre numunelerin gerilme (σ) değerleri (3.6) Formülüne göre hesaplanmıştır. Yapılan basınç testinin deneysel çalışma anında çekilen görüntü Şekil 3.13’ te gösterilmektedir. Numune boyutları 150×150×150 mm’ye ait olan sonuçlar Tablo 3.24, 3.25 ve 3.26’da gösterilmektedir. Numune boyutları 100×100×100 mm’ye ait olan sonuçlar Tablo 3.27’de verilmiştir.

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (3.6)$$

σ = Maksimum basınç gerilmesi $\left(\frac{N}{mm^2}\right)$ veya (MPa)

P = Numunenin kırıldığı maksimum yük miktarı (N)

A = Numunenin kesit alanı (mm^2)



Şekil 3.13. Üretilen çevre dostu betonun basınç testi altında numune görünümü

Tablo 3.24. Üretilen betonun 3 günlük basınç değerleri numune boyutu (150×150×150) mm

Agrega Karışım Oranı	Seri İsimleri	Basınç Değerleri (MPa)	Seri İsimleri	Basınç Değerleri (MPa)
I (%65 İnce-%35 İri)	350-0.55-MT0	38.35	425-0.55-MT0	44.54
	350-0.55-MT2	42.69	425-0.55-MT2	48.82
	350-0.55-MT4	45.75	425-0.55-MT4	52.31
II (%55 İnce-%45 İri)	350-0.55-MT0	36.22	425-0.55-MT0	41.07
	350-0.55-MT2	40.12	425-0.55-MT2	46.40
	350-0.55-MT4	43.53	425-0.55-MT4	49.63
III (%45 İnce-%55 İri)	350-0.55-MT0	34.31	425-0.55-MT0	40.20
	350-0.55-MT2	38.19	425-0.55-MT2	44.40
	350-0.55-MT4	40.87	425-0.55-MT4	47.04

Tablo 3.25. Üretilen betonun 7 günlük basınç değerleri numune boyutu (150×150×150) mm

Agrega Karışım Oranı	Seri İsimleri	Basınç Değerleri (MPa)	Seri İsimleri	Basınç Değerleri (MPa)
I (%65 İnce-%35 İri)	350-0.55-MT0	43.06	425-0.55-MT0	51.78
	350-0.55-MT2	48.42	425-0.55-MT2	55.00
	350-0.55-MT4	51.26	425-0.55-MT4	57.70
II (%55 İnce-%45 İri)	350-0.55-MT0	41.11	425-0.55-MT0	46.66
	350-0.55-MT2	43.93	425-0.55-MT2	49.69
	350-0.55-MT4	46.23	425-0.55-MT4	53.26
III (%45 İnce-%55 İri)	350-0.55-MT0	37.20	425-0.55-MT0	44.13
	350-0.55-MT2	41.62	425-0.55-MT2	47.22
	350-0.55-MT4	44.75	425-0.55-MT4	51.61

Tablo 3.26. Üretilen betonun 28 günlük basınç değerleri numune boyutu (150×150×150) mm

Agrega Karışım Oranı	Seri İsimleri	Basınç Değerleri (MPa)	Seri İsimleri	Basınç Değerleri (MPa)
I (%65 İnce-%35 İri)	350-0.55-MT0	49.04	425-0.55-MT0	57.27
	350-0.55-MT2	54.01	425-0.55-MT2	61.66
	350-0.55-MT4	56.79	425-0.55-MT4	64.85
II (%55 İnce-%45 İri)	350-0.55-MT0	47.53	425-0.55-MT0	54.46
	350-0.55-MT2	50.65	425-0.55-MT2	57.44
	350-0.55-MT4	53.73	425-0.55-MT4	60.62
III (%45 İnce-%55 İri)	350-0.55-MT0	42.06	425-0.55-MT0	48.31
	350-0.55-MT2	46.76	425-0.55-MT2	54.23
	350-0.55-MT4	50.34	425-0.55-MT4	56.31

Tablo 3.27. Üretilen betonun 28 günlük basınç değerleri numune boyutu (100×100×100) mm

Agrega Karışım Oranı	Seri İsimleri	Basınç Değerleri (MPa)	Seri İsimleri	Basınç Değerleri (MPa)
I (%65 İnce-%35 İri)	350-0.55-MT0	55.10	425-0.55-MT0	61.55
	350-0.55-MT2	58.86	425-0.55-MT2	65.77
	350-0.55-MT4	60.88	425-0.55-MT4	68.64
II (%55 İnce-%45 İri)	350-0.55-MT0	52.75	425-0.55-MT0	57.56
	350-0.55-MT2	57.13	425-0.55-MT2	63.13
	350-0.55-MT4	58.60	425-0.55-MT4	65.43
III (%45 İnce-%55 İri)	350-0.55-MT0	48.68	425-0.55-MT0	55.40
	350-0.55-MT2	53.28	425-0.55-MT2	58.64
	350-0.55-MT4	56.68	425-0.55-MT4	60.86

g. Sertleşmiş Betonun Yoğunluğu

Yoğunluk veya öz kütle, bir maddenin birim hacmindeki kütlesine denir. Yapılan bu çalışmada mermer tozu ile üretilen çevre dostu betonların yoğunluğunun belirlenmesi TS EN 12390-7'y göre yapılmaktadır. Buna göre aşağıdaki işlemler sırası ile şu şekilde takip edilmektedir. Numuneler 28 gün sonra kür tankından çıkarılıp bir gün boyunca 20 °C sabit sıcaklıkta bekletilmiştir daha sonra deney işlemlerine devam ettirilmiştir. İlk başta numunelerin kuru ağırlığı, daha sonra sudaki ağırlığı ve en son suda doygun ağırlığı tartılarak yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre yoğunluk hesabı, Formül (3.7) ve (3.8) yardımıyla yapılmaktadır. Önce numunenin hacmi ve daha sonra da yoğunluğu tayin edilmiştir [107]. Elde edilen sonuçlara göre hesaplanan yoğunluk değerleri Tablo 3.28' de sunulmaktadır.

$$\text{Hacim (V)} = \frac{m_{\text{hava}} - m_{\text{su}}}{\gamma_{\text{su}}} (\text{m}^3) \quad (3.7)$$

V = Numunenin Hacmi (m³)

m_{hava} = Numunenin Havadaki Kütlesi (kg)

m_{su} = Numunenin Su İçerisindeki Görünür Kütlesi (kg)

γ_{su} = Suyun 20 °C sıcaklıktaki yoğunluğu

$$\text{Yoğunluk}(d) = \frac{m}{v} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) \quad (3.8)$$

Tablo 3. 28. Sertleşmiş betonun yoğunluk değerleri

Agrega Karışım Oranı	Seri İsimleri	Yoğunluk Değerleri (kg/m ³)	Seri İsimleri	Yoğunluk Değerleri (kg/m ³)
I (%65 İnce-%35 İri)	350-0.55-MT0	2.30	425-0.55-MT0	2.32
	350-0.55-MT2	2.32	425-0.55-MT2	2.34
	350-0.55-MT4	2.34	425-0.55-MT4	2.36
II (%55 İnce-%45 İri)	350-0.55-MT0	2.29	425-0.55-MT0	2.30
	350-0.55-MT2	2.31	425-0.55-MT2	2.32
	350-0.55-MT4	2.32	425-0.55-MT4	2.34
III (%45 İnce-%55 İri)	350-0.55-MT0	2.28	425-0.55-MT0	2.29
	350-0.55-MT2	2.29	425-0.55-MT2	2.30
	350-0.55-MT4	2.31	425-0.55-MT4	2.32

h. Kılcalık Deneyi

Sertleşmiş beton deneylerinden biridir, bu deneyin amacı üretilen betonun su içerisinde veya nemli bölgelerde su emme oranının veya su işleme derinliğinin belirlenmesidir. Betonun su emme oranının veya su işleme derinliğinin az olması betonun sulu veya nemli ortamlarda olan dayanıklılığını göstermektedir. Bu şu anlama gelmektedir betonarme yapılarda betonun içerisindeki sızdırma olayının gerçekleşmemesi sonucu içerisinde bulundurduğu donatıların korozyona uğramasını engellemektir. Böylece daha kalıcı ve daha dayanıklı bir betonarme yapısı elde etmektir. Yapılan bu çalışma TS EN 206:2013+A1 standardına göre yapılmıştır [108]. Bu deney (100×100×100) mm boyutlarına sahip olan numuneler üzerinde 28 gün kürlenme işleminden sonra yapılmaktadır. İşlem sırasında yapılması gereken işlemler sırayla düzenli bir şekilde yapılmaktadır. 28 gün sonrası numuneler kürlenme havuzundan çıkarılıp, numune yüzeyleri temiz bir bezle temizlenmiştir daha sonra etüve 24 saat boyunca bırakılmıştır. 24 saat sonra etüvden çıkarılıp hassas bir terazi ile ağırlığı ölçülmüştür ve bir daha etüve 2 saat bırakılarak ağırlığı tekrar ölçülmüştür. Bu işlem ağırlığın değişmemesine kadar devam etmektedir ve en son değer kuru ağırlık değeri olarak kaydedilmiştir. Bu işlemlerden sonra numunelerin etrafı alttan suyun temas edeceği kısımdan 0.5 cm kalacak şekilde su geçirgenliğini engelleyen bant ile sarılmıştır. İlk gün numuneler verilen zaman tablosuna göre 1., 5., 10., 20.,30. Dakikalarda ve , 1., 2., 3., 4., 5., 6. Saatlerde ölçülmüştür daha sonra her gün bir kez 9 gün boyunca ağırlığı ölçülerek kaydedildi. Son günde numunelerin etrafındaki bantlar sökülerek dörder yandan suyun yükselmesi ölçülerek ortalama bir değer alınarak kaydedildi. Daha sonra numune 24 saat boyunca suyun içerisinde

bırakıldı tam suya doygun hale gelince çıkartılıp suya doygun ağırlığın ölçüsü alınarak kaydedildi. En son numunenin suyun içerisindeki ağırlığı ölçüldü. Elde edilen bu değerlere göre üretilen betonun geçirimsizlik hakkında bilgi edinilmiştir. İşlem sırasında elde edilen sonuçlar Tablo 3.29’ de ve çekilen fotoğraf ise Şekil 3.15’ te görüntülenmektedir.

Elde edilen sonuçlara göre üretilen betonun başlangıç ve nihai kılcallık değerlerine ulaşmak için su işleme derinliği denklemi kullanılmaktadır.

$$I = \frac{m_t}{(a \times d)} \text{ (mm)} \quad (3.9)$$

Burada,

I: Su işleme derinliği (mm)

m_t : Numunenin zamana bağlı olarak ağırlık değişimi (g)

a: Numunenin su ile temas ettiği yüzey alanı(mm²)

d: Suyun yoğunluğu (gr/cm³)

Si: Başlangıç kılcallık katsayısıdır bunu belirlemek için elde ettiğimiz I değerleri ile zamanın karekökü arasındaki ilişkiye ait eğri çizilir ($\sqrt{t}$) Si’nin birimi de (mm/s^{1/2})’ dir. Elde ettiğimiz Si değerleri ile bir eğim çizilir, bu eğim çizilirken elde edilen eğrinin doğrusal regresyon analizinin eğimi ile hesaplanır. Deney sırasında kaydettiğimiz bütün zaman aralıklarında ki 1 dakikadan 6 saate kadar olan değerler regresyon analizi için kullanılmaktadır.

Ss: Nihai su emme katsayısıdır. Bunu belirlemek bu da elde ettiğimiz I değerleri ile zamanın karekökü ile ilişkilendirilerek çizilir birimi de (mm/s^{1/2})’ dir. Eğimi de çizilirken elde edilen eğrinin doğrusal regresyon analizinin eğimi ile hesaplanır. 1 günden 8 güne kadar olan tüm veriler regresyon analizinde kullanılır. Eğer kolerasyon katsayıları, S_i ve S_s için 0.98’den düşükse, emilim katsayıları belirlenememiştir. Üretilen betonun deney anındaki kılcallık görüntüsü Şekil 3.14’de gösterilmiştir. Aynı zamanda elde edilen sonuçlar Tablo 2.29 ve 3.30’da gösterilmiştir.



Şekil 3.14. Üretilen betonun kılcallık deneyi görünümü

Tablo 3. 29. Çimento dozajı 350 kg olan karışımın kılcalık değerleri (kg)

Seri İsimleri	I (%65 İnce-%35 İri) 350-0.55-MT0	I (%65 İnce-%35 İri) 350-0.55-MT2	I (%65 İnce-%35 İri) 350-0.55-MT4	II (%55 İnce-%45 İri) 350-0.55-MT0	II (%55 İnce-%45 İri) 350-0.55-MT2	II (%55 İnce-%45 İri) 350-0.55-MT4	III (%45 İnce-%55 İri) 350-0.55-MT0	III (%45 İnce-%55 İri) 350-0.55-MT2	III (%45 İnce-%55 İri) 350-0.55-MT4
Zaman									
Kuru Ağırlık	2242.3	2311.4	2275.0	2288.3	2214.2	2247.8	2267.2	2260.8	2278.7
1 dk	2243.8	2313.0	2277.5	2290.9	2215.5	2249.2	2268.4	2262.3	2279.9
5 dk	2244.8	2313.9	2279.6	2291.6	2216.8	2250.8	2269.5	2263.4	2281.2
10 dk	2245.7	2314.8	2281.2	2292.0	2217.1	2251.8	2270.4	2264.3	2282.3
20 dk	2247.0	2315.9	2283.2	2292.6	2218.5	2253.5	2271.5	2265.5	2283.8
30 dk	2248.0	2316.7	2284.8	2293.1	2219.3	2254.8	2272.6	2266.4	2285.2
1 saat	2250.0	2318.4	2287.6	2294.0	2221.1	2257.3	2274.5	2268.0	2287.9
2 saat	2252.4	2320.4	2290.8	2295.0	2223.2	2260.4	2279.3	2271.0	2292.8
3 saat	2254.3	2321.4	2292.9	2295.7	2224.7	2262.7	2282.4	2273.5	2296.3
4 saat	2255.8	2322.3	2294.7	2296.4	2225.8	2264.6	2285.0	2275.0	2298.5
5 saat	2257.1	2323.1	2296.1	2297.0	2226.8	2266.4	2286.9	2276.1	2300.6
6 saat	2258.1	2323.8	2297.2	2297.5	2227.7	2268.1	2288.1	2277.3	2301.8
1 gün	2276.4	2329.2	2310.6	2302.6	2237.5	2287.3	2319.5	2298.1	2328.0
2 gün	2289.4	2332.1	2317.7	2304.9	2241.6	2299.2	2332.3	2309.9	2337.1
3 gün	2300.3	2334.1	2322.9	2307.0	2244.8	2308.8	2340.1	2320.2	2342.9
4 gün	2309.9	2335.5	2326.9	2308.6	2247.5	2316.1	2346.0	2327.9	2347.3
5 gün	2318.0	2337.1	2330.5	2310.6	2249.7	2322.6	2350.6	2333.6	2351.0
6 gün	2324.8	2339.0	2333.5	2312.4	2251.9	2328.7	2354.0	2337.8	2353.7
7 gün	2329.8	2340.3	2335.7	2313.6	2253.6	2332.4	2357.4	2341.5	2355.8
8 gün	2333.6	2341.5	2337.9	2314.6	2255.1	2335.5	2360.2	2344.0	2357.1
9 gün	2336.3	2342.5	2339.2	2315.4	2256.4	2337.6	2362.3	2345.8	2358.1
Doygun Ağırlık	2364.8	2402.2	2373.5	2383.8	2314.4	2345.4	2380.0	2365.8	2382.1
Suda ki ağırlık	1373.3	1416.3	1416.0	1386.6	1379.2	1355.0	1382.6	1373.8	1402.2

Tablo 3. 30. Çimento dozajı 425 kg olan karışımın kılcalık değerleri (kg)

Seri isimleri	I (%65 İnce-%35 İri) 425-0.55-MT0	I (%65 İnce-%35 İri) 425-0.55-MT2	I (%65 İnce-%35 İri) 425-0.55-MT4	II (%55 İnce-%45 İri) 425-0.55-MT0	II (%55 İnce-%45 İri) 425-0.55-MT2	II (%55 İnce-%45 İri) 425-0.55-MT4	III (%45 İnce-%55 İri) 425-0.55-MT0	III (%45 İnce-%55 İri) 425-0.55-MT2	III (%45 İnce-%55 İri) 425-0.55-MT4
Zaman									
Kuru Ağırlık	2269.2	2169.4	2189.1	2116.7	2229.4	2218.5	2278.4	2228.0	2258.4
1 dk	2271.1	2171.1	2191.0	2119.4	2231.7	2219.7	2280.0	2230.0	2262.3
5 dk	2272.5	2172.5	2192.8	2121.4	2232.9	2220.7	2281.4	2231.8	2263.6
10 dk	2273.5	2173.7	2194.3	2122.8	2233.8	2221.4	2282.0	2233.0	2264.5
20 dk	2274.8	2174.5	2195.0	2124.6	2235.3	2222.6	2282.9	2234.9	2265.7
30 dk	2275.9	2176.4	2198.5	2126.0	2236.6	2223.6	2284.0	2236.2	2266.5
1 saat	2277.9	2178.8	2201.9	2128.4	2239.1	2225.4	2285.2	2238.7	2268.0
2 saat	2281.1	2182.4	2207.2	2130.4	2242.6	2227.9	2286.7	2241.7	2269.7
3 saat	2283.4	2184.8	2210.8	2134.3	2245.6	2230.6	2287.7	2244.0	2271.0
4 saat	2284.8	2186.2	2212.8	2136.6	2248.0	2233.5	2288.6	2246.2	2272.2
5 saat	2286.0	2187.9	2214.8	2138.7	2250.0	2236.5	2289.3	2247.9	2273.2
6 saat	2287.2	2189.1	2216.0	2140.5	2251.6	2236.5	2289.9	2249.3	2274.1
1 gün	2310.0	2209.0	2247.3	2161.0	2266.2	2269.0	2297.6	2266.3	2288.6
2 gün	2320.5	2217.6	2262.5	2172.7	2273.2	2284.9	2302.0	2276.0	2299.7
3 gün	2325.6	2224.7	2274.6	2181.9	2278.5	2298.7	2305.5	2282.5	2309.4
4 gün	2329.5	2230.1	2283.6	2189.3	2282.2	2306.1	2308.2	2286.6	2316.7
5 gün	2334.3	2234.3	2289.9	2195.4	2285.9	2312.4	2310.7	2290.0	2323.7
6 gün	2337.9	2237.5	2294.6	2200.0	2288.7	2317.1	2312.6	2292.6	2328.9
7 gün	2340.9	2240.6	2298.7	2204.6	2292.1	2320.9	2314.4	2295.3	2334.3
8 gün	2343.1	2243.5	2301.7	2207.0	2293.7	2323.8	2315.9	2296.8	2337.7
9 gün	2344.7	2245.6	2304.0	2209.0	2295.6	2326.1	2317.5	2298.4	2340.9
Doygun Ağırlık	2375.3	2308.4	2318.4	2251.4	2354.8	2343.8	2388.6	2351.2	2365.0
Suda ki ağırlık	1402.2	1386.1	1396.1	1308.7	1383.2	1380.6	1392.9	1370.0	1382.1

4. BULGULAR

Yapılan bu çalışmada kullanılan atık mermer tozu toplam agrega ile hacimce yüzde (%0, %2 ve %4) olarak yer değiştirerek, 3 farklı agrega granülometrisi (%65 İnce-%35 İri), (%55 İnce-%45 İri), (%45 İnce-%55 İri) ve iki farklı çimento dozaj (350 kg/m^3 ve 425 kg/m^3) şeklinde kullanılarak çevre dostu betonlar üretilmektedir. Üretilen beton numunelerin dayanım ve dayanıklılık özelliklerinin belirlenmesi için bir takım tahribatlı ve tahribatsız testler kullanılarak bilgi edinilmiştir. Yapılan bu testler sonucu elde edilen veriler aşağıda sırasıyla sunulmaktadır.

4.1. Atık Mermer Tozu İle Üretilen Beton Numunelerinde Kullanılan Testler

Kullanılan bütün test metotları önerilen standartlara göre uygun ve düzenli bir şekilde uygulanmıştır. Deneylere tabi tutulan numunelerin boyutları ($150 \times 150 \times 150$) mm ve ($100 \times 100 \times 100$) mm'dir. Kullanılan bu testler numunelerin taze ve sertleşmiş iken yapılmaktadır. Uygulanan testler sırası ile Slump, Yaş birim hacim ağırlık, Kuru birim hacim ağırlık, Betonun yaşı, Test çekici, Ultrases geçiş hızı, Yarma deneyi, Basınç testi, Yoğunluk ve Kılcallık deneyleridir.

4.1.1. Slump Testi

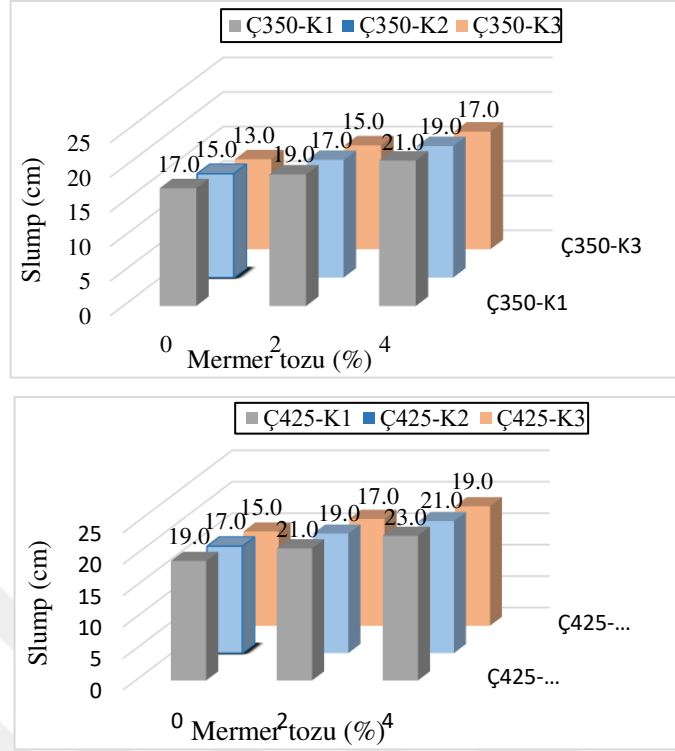
Yapılan çalışmada S/çimento oranı (0.55) olarak sabit tutulmuştur. Elde edilen slump sonuçlarını, Şekil 4.1'de oluşturduğumuz grafiğe göre üç şekilde yorumlayabiliriz. Birincisi mermer tozu oranına göre, ikincisi agrega granülometreler değişimine göre üçüncü ise kullanılan çimento dozajı değişimine göredir.

Birinci değerlendirmede referans numunelere göre mermer tozunun artması ile slump değerlerinin artışı görmektediriz yani mermer tozu oranları %4 olan numunelerin slump değerleri artmaktadır.

İkincide ise, karışımın 3 farklı agrega granülometrelerine göre değerlendirdiğimizde agrega granülometrisi (%65 İnce-%35 İri) olan numunelerin slump değerlerinin yükseldiği görülmektedir.

Üçüncüde ise çimento dozajı 450 kg/m^3 olan serilerin slump değerleri artış göstermektedir.

Bu sonuçlara göre üretilen numunelerin slump değerlerini değerlendirecek olursak, atık mermer tozunun artması, ince agrega miktarının artması ve çimento dozajının artması ile slump değerlerinin yükseldiği görülmektedir. Yalnız bir şeyi unutmamalıyız atık mermer tozu belli bir orana kadar slump değerlerini artırmaktadır ve o oranı geçince mermer tozu topaklanma özelliğine sahip olduğundan dolayı slump değerlerini azaltmaktadır. Bu nedenle slump değeri azaldıkça üretilen betonun işlenebilirliği de azalacaktır böylece işçilik zorlaşacaktır.



Şekil 4.1. MT, karışım oranı ve slump değerlerine göre grafik çizimi (%MT- K -Slump_{cm})

4.1.2. Yaş Birim Hacim Ağırlık

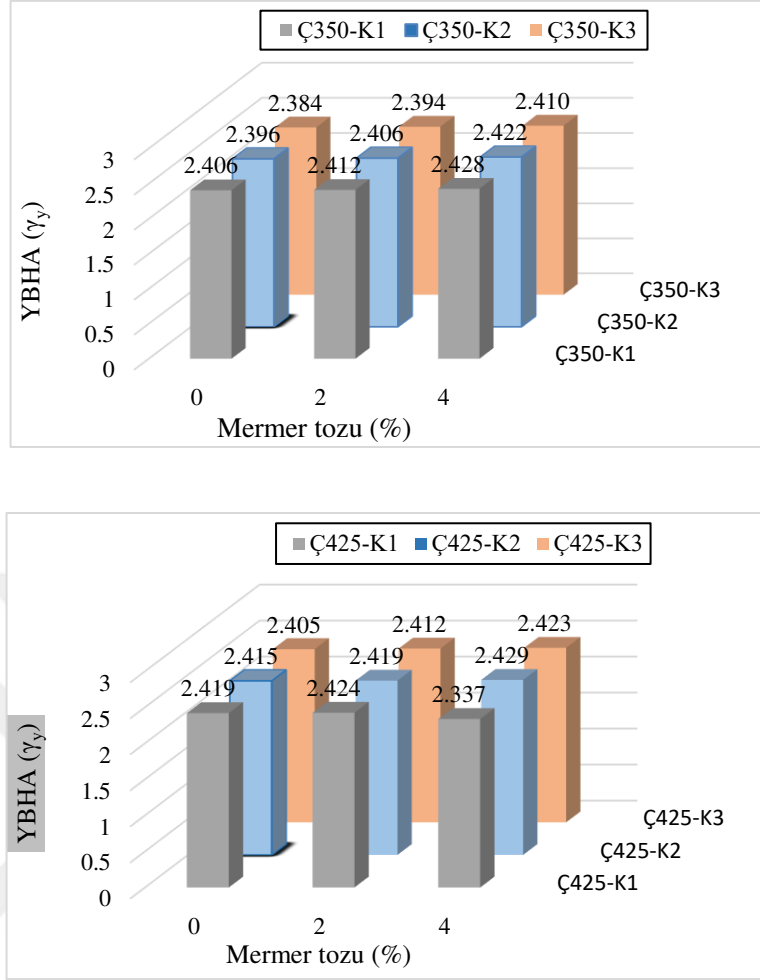
Yaş birim hacim ağırlığın sonuçlarını elde ettiğimiz verilere göre Şekil 4.2’de bakarak, verilerin oluşturduğu grafiği üç şekilde değerlendirebiliriz, birincisi atık mermer tozu oranına göre, ikinci agrega granülometrilere göre, üçüncü ise kullanılan çimento dozajı değişimine göredir.

Birinci değerlendirmede referans numunelerine göre mermer tozu oranı artıkça yaş birim hacim ağırlığın arttığı görülmektedir.

İkincide ise agrega granülometrisi (%65 İnce-%35 İri) olan numunelerin yaş birim hacim ağırlığının arttığı görülmektedir.

Üçüncüde ise çimento dozajı 450 kg/m³ olan serilerin yaş birim hacim ağırlığının yükselmektedir.

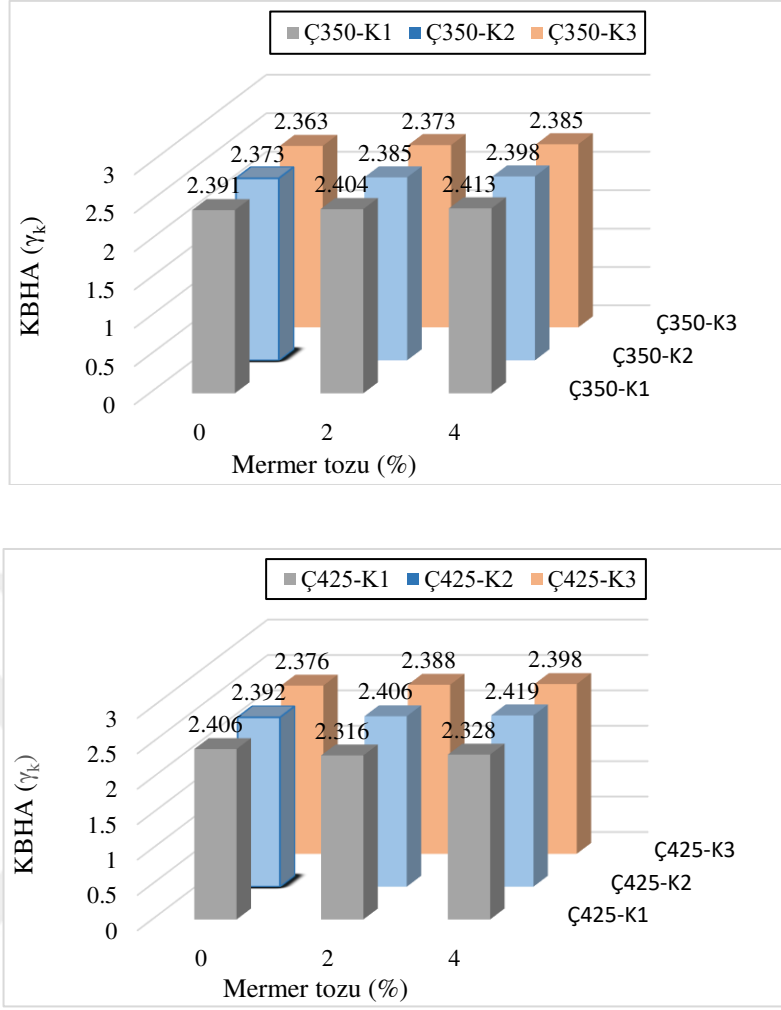
Bu değerlendirme sonucuna göre şu netice ve sonuca varmış oluruz; mermer tozunun, agrega karışımındaki ince malzemenin ve çimento dozajının artışı yaş birim hacim ağırlığın artmasına neden olmaktadır. Yaş birim hacim ağırlığın artışı üretilen beton numunelerindeki boşluk oranının az olması demektir. Üretilen beton numunelerinin boşluk oranı ne kadar az ise, dayanım ve dayanıklı olduğu o kadar yüksektir demektir.



Şekil 4.2. MT, karışım oranı ve yaş birim hacim ağırlık değerlerine göre grafik çizimi (%MT- K - $\delta_{yaş}$)

4.1.3. Kuru Birim Hacim Ağırlık

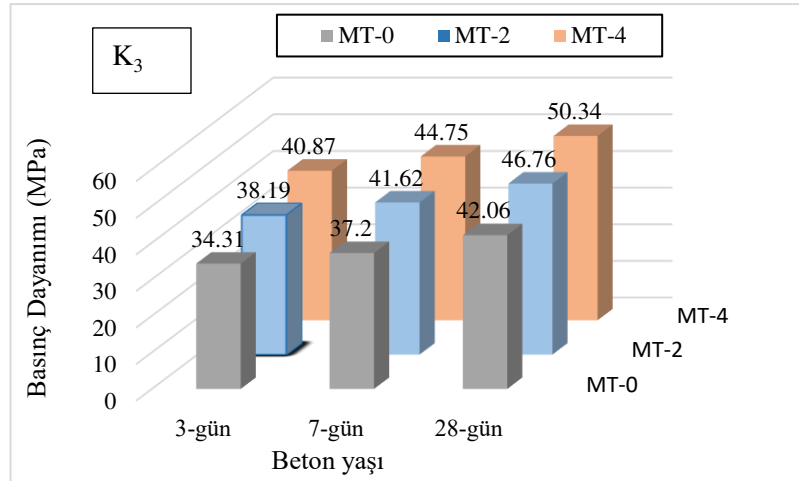
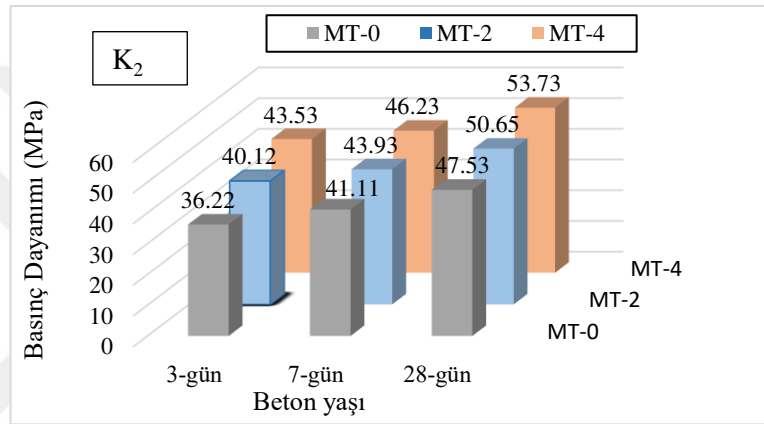
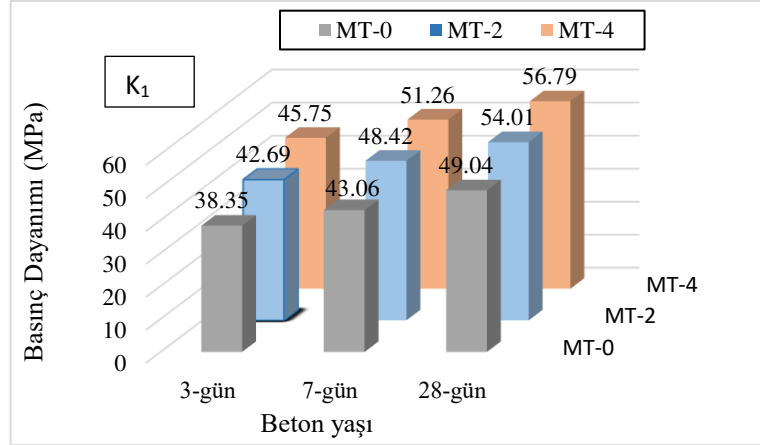
Kuru birim hacim ağırlığının değerlerine bakıldığında referans numunelerine göre mermer tozu oranı arttıkça kuru birim hacim ağırlığının arttığını, agrega karışımındaki ince malzemenin artması ile kuru birim hacim ağırlığının artmasını aynı şekilde çimento dozajının artması ile de kuru birim hacim ağırlığının artmasını görmekteyiz. Bu sonuçlara göre mermer tozunun, agrega karışımındaki ince malzemenin ve çimento dozajının artışı kuru birim hacim ağırlığının artmasına neden olmaktadır. Kuru birim hacim ağırlığının artışı üretilen beton numunelerindeki boşluk oranının az olmasını göstermektedir. Üretilen beton numunelerinin boşluk oranı ne kadar az ise, üretilen beton numunesinin kalitesi o kadar yüksektir demektir. Bu değerlendirme Şekil 4.3’de ki grafiğine göre değerlendirilmiştir.



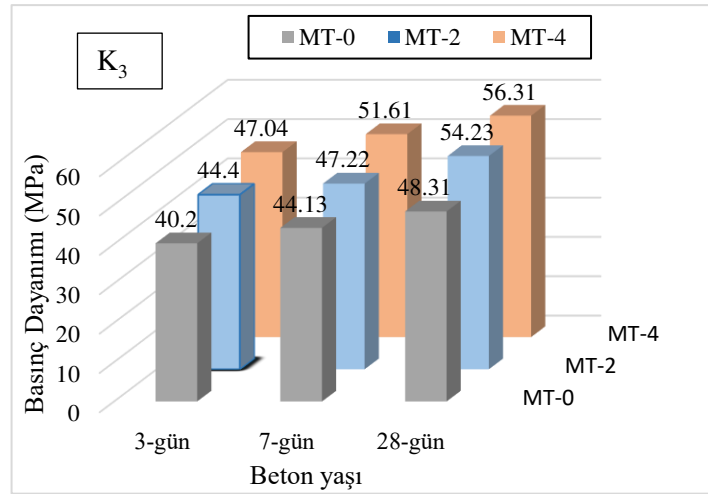
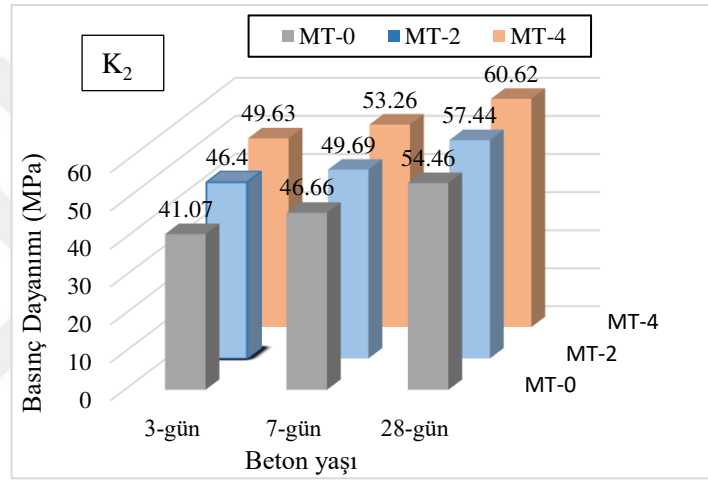
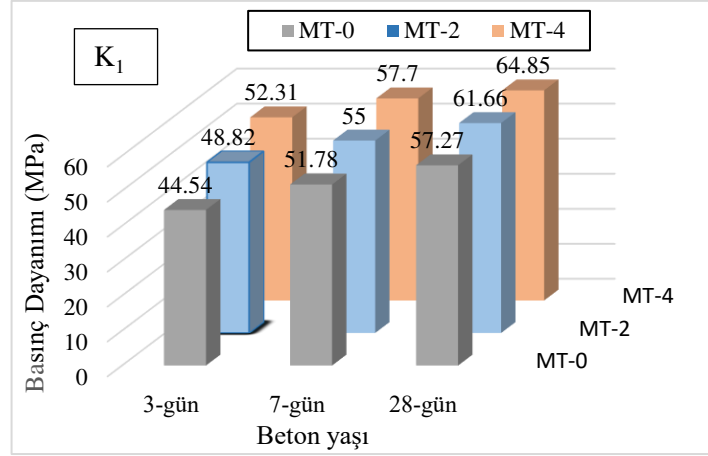
Şekil 4.3. MT, karışım oranı ve kuru birim hacim ağırlık değerlerine göre grafik çizimi (%MT-K- δ_{kuru})

4.1.4. Beton yaşı, MT ve Basınç Dayanımı Arasındaki İlişki

Yapılan çalışmada üretilen beton numunelerinin, mermer tozu oranına, betonun yaşına ve basınç değerlerine göre değerlendirdiğimiz zaman mermer tozu % 4 olanın zamana bağlı olarak basınç dayanımlarının yükseldiğini aynı şekilde zamana bağlı olarak basınç dayanımlarının da arttığını görüyoruz. Buna göre üretilen betonun zamana bağlı olarak dayanımlarının artacağı ve mermer tozunun beton karışımında belli bir miktara kadar olumsuz etkisinin olmadığı söylenebilir. Bu değerlendirmeler Şekil 4.4 ve 4.5' e göre yapılmıştır.



Şekil 4.4. Çimento dozajı 350 kg olan serilerin, beton yaşı, MT ve basınç değerlerine göre grafik değerlendirilmesi

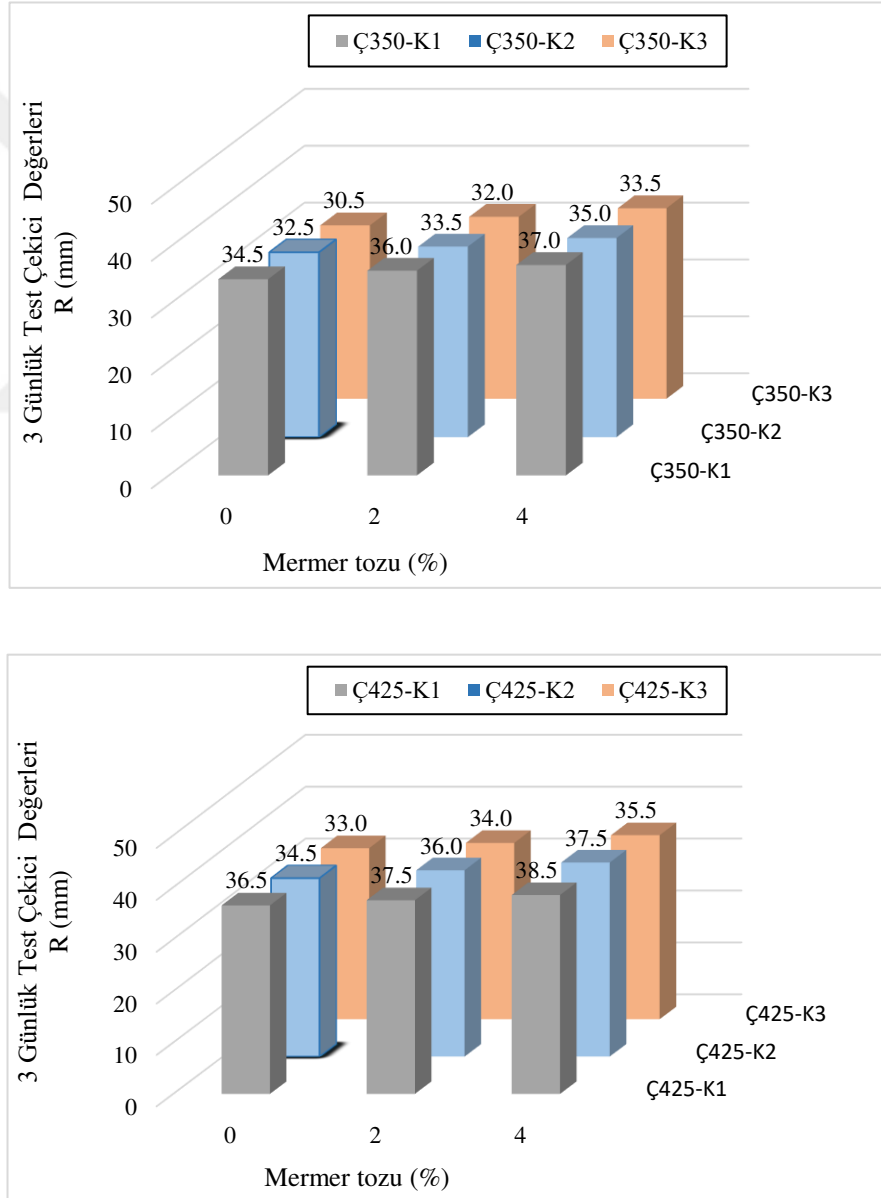


Şekil 4.5. Çimento dozajı 425 kg olan serilerin, beton yaşı, MT ve basınç değerlerine göre grafik değerlendirilmesi

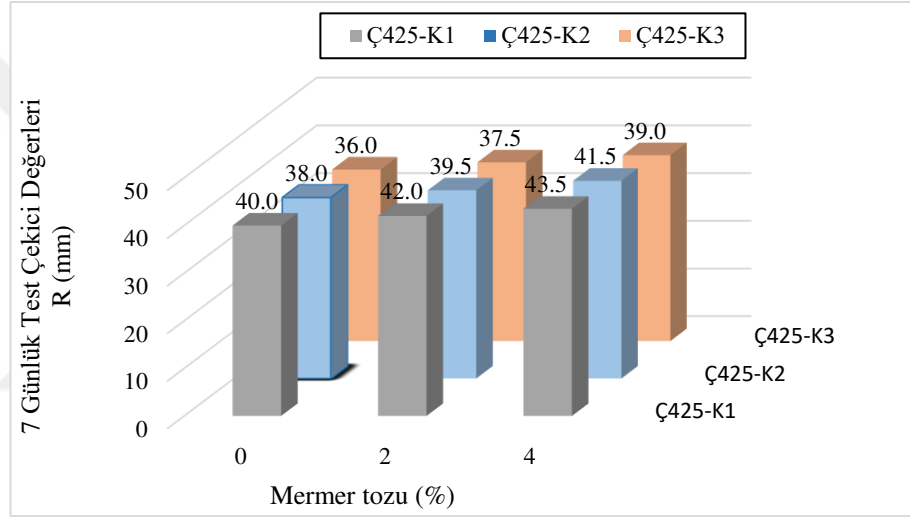
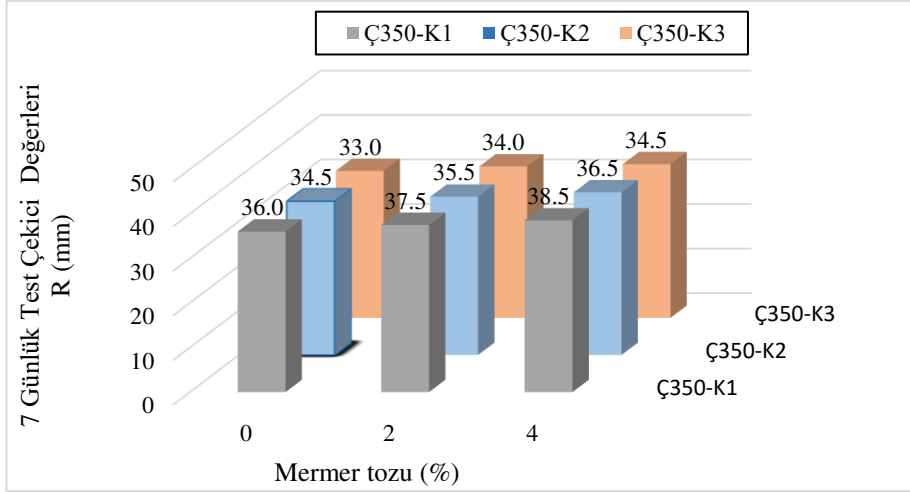
4.1.4. Test Çekici

Yapılan çalışmada kullanılan Test Çekici (Schmidt Rebound Hammer Testi) tahribatsız test yöntemlerinden biridir. Genellikle betonarme binalarının denetimi için kullanılır ve elde edilen verilere göre binaların dayanım ve dayanıklılığı hakkında bize bilgi verir.

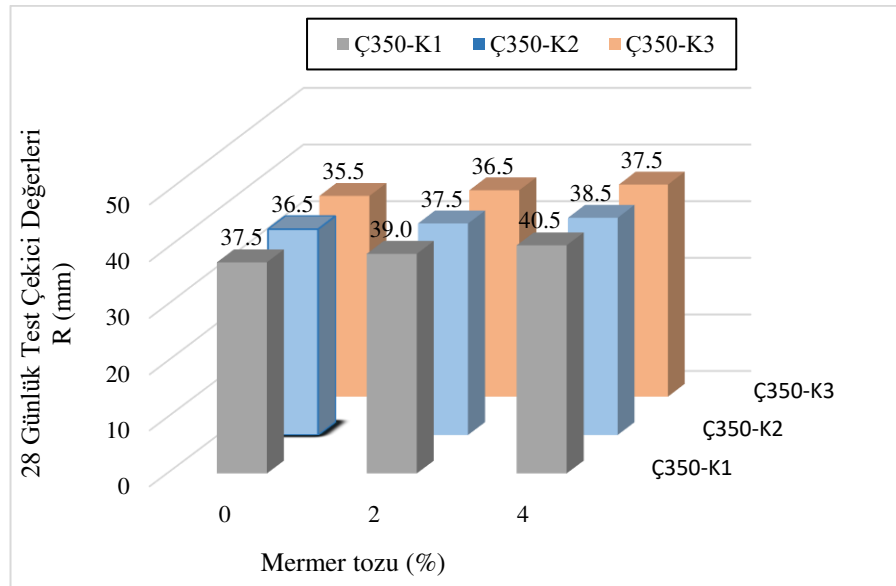
Yapılan çalışmada elde edilen R verilerini Şekil 4.6, 4.7 ve 4.8 grafik çizimine göre değerlendirecek olursak, mermer tozunun, agregra granülometrisindeki ince malzemenin ve çimento dozajının artması ile R değerlerinin yükseldiği görülmektedir. R değerlerinin yükselmesi üretilen betonun boşluk oranının azalmasını göstermektedir. Boşluk oranının azalması üretilen betonun dayanım ve dayanıklı olduğunun göstermektedir.

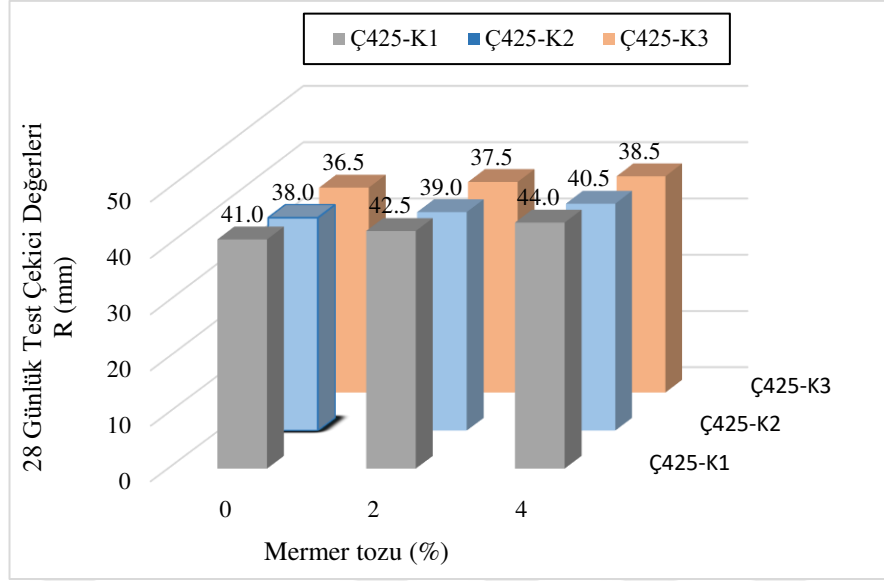


Şekil 4.6. MT, karışım oranı ve 3 günlük test çekici R değerlerine göre grafik çizimi (%MT-K-R)



Şekil 4.7. MT, karışım oranı ve 7 günlük test çekici R değerlerine göre grafik çizimi (%MT-K-R)

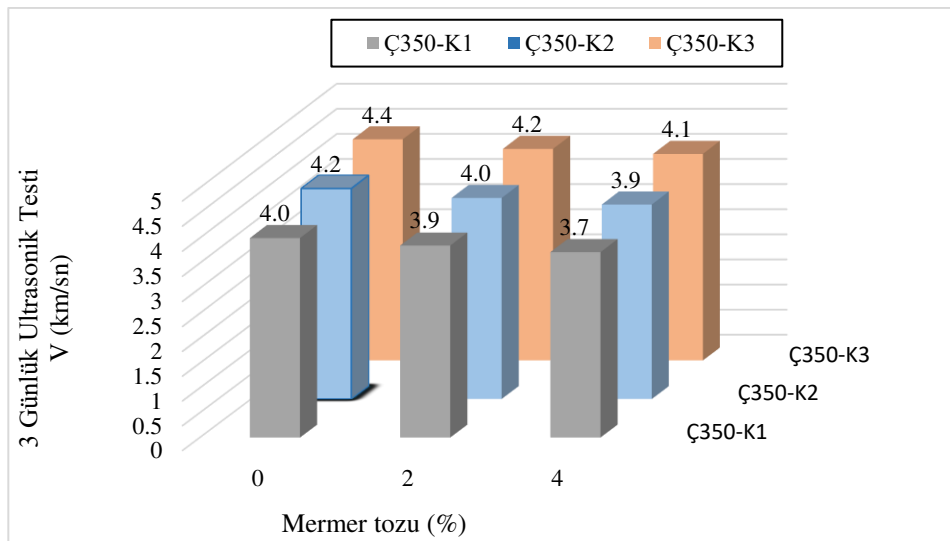


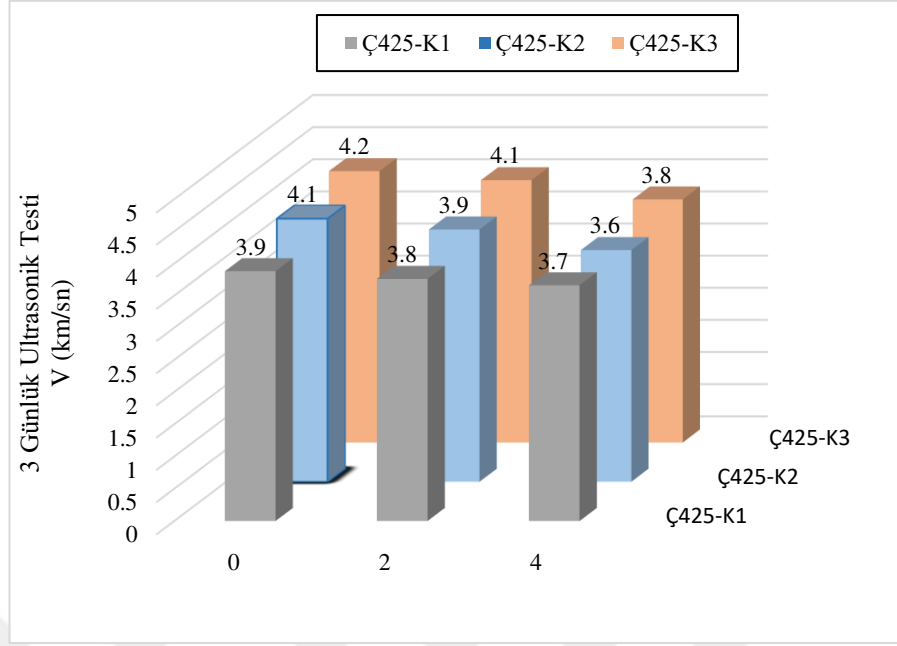


Şekil 4.8. MT, karışım oranı ve 28 günlük test çekici R değerlerine göre grafik çizimi (%MT-K-R)

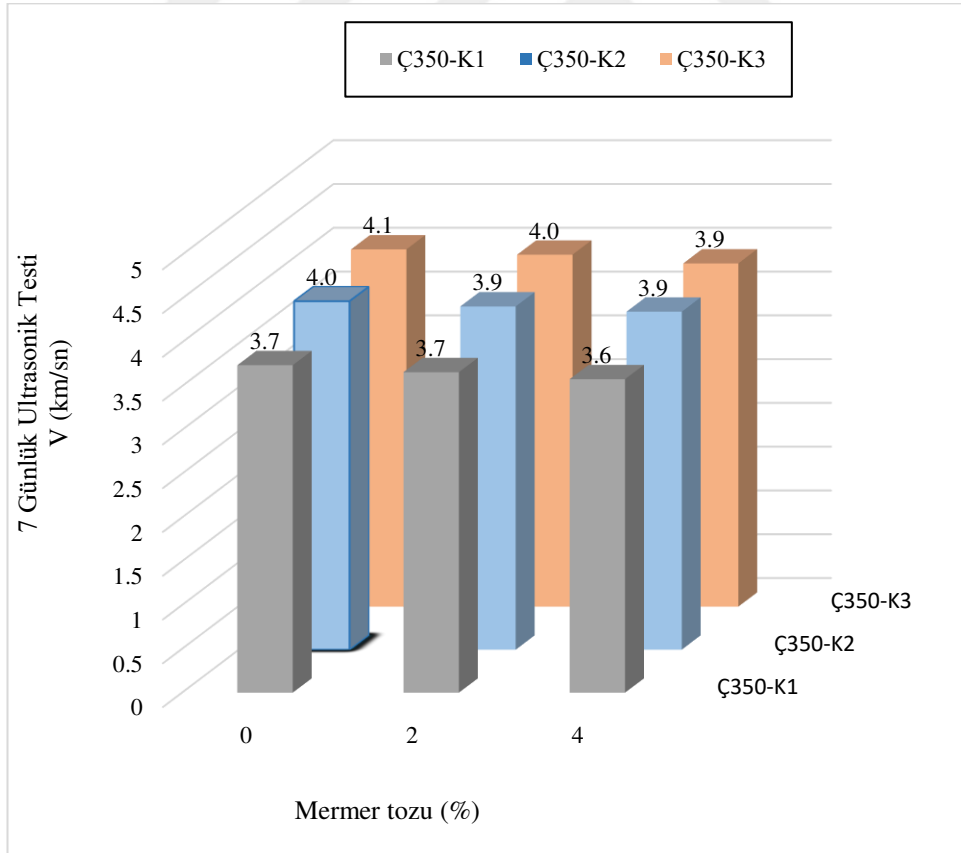
4.1.5. Ultrases Geçiş Hızı

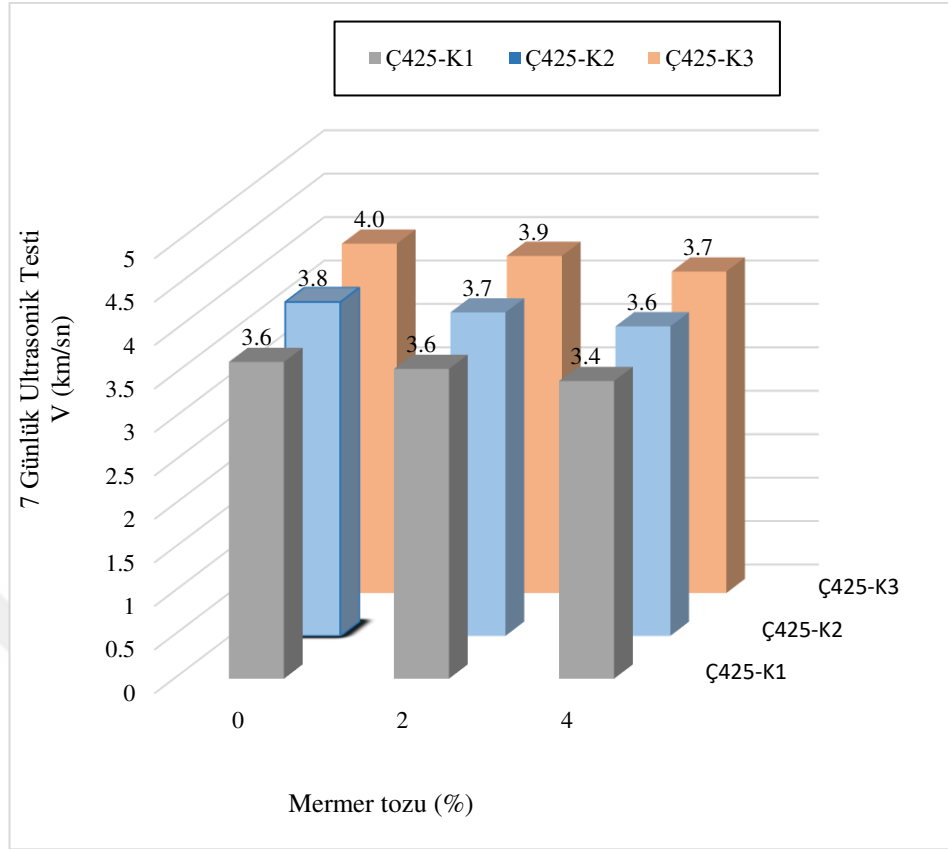
Ultrases geçiş hız testi de tahribatsız test yöntemlerinden biridir. Bu test yöntemi ile elde edilen veriler Şekil 4.9, 4.10 ve 4.11'e göre değerlendirildiğinde, mermer tozu, agrega granülometrisindeki ince malzeme ve çimento dozajının oranı arttıkça ultrases dalga geçiş hız değerleri düşmektedir. Bu değerlerin düşmesi betonun içerisindeki boşluk oranı ile doğru orantılıdır. Yani betondaki boşluk oranı ne kadar fazla ise ultrases geçiş dalga hızı gönderici transetörden alıcı transetöre o kadar geç iletilecektir. Ultrases geçiş dalga hızının geç iletilmesi de betonun boşluk oranının fazla olmasının bir kanıtıdır ve böylece üretilen betonun dayanım ve dayanıklı olmadığını göstermektedir.



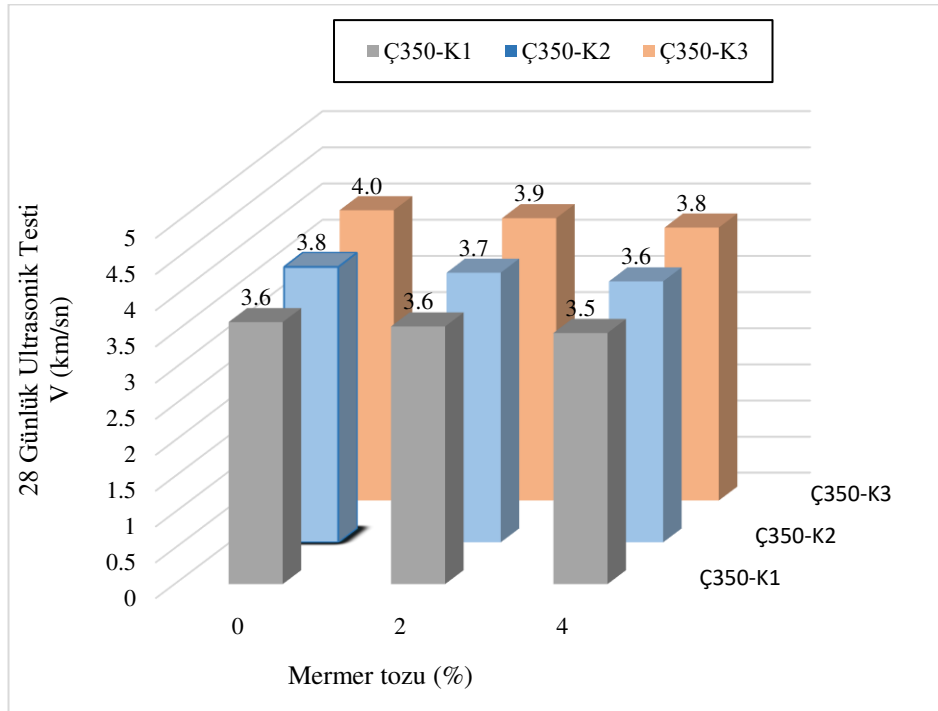


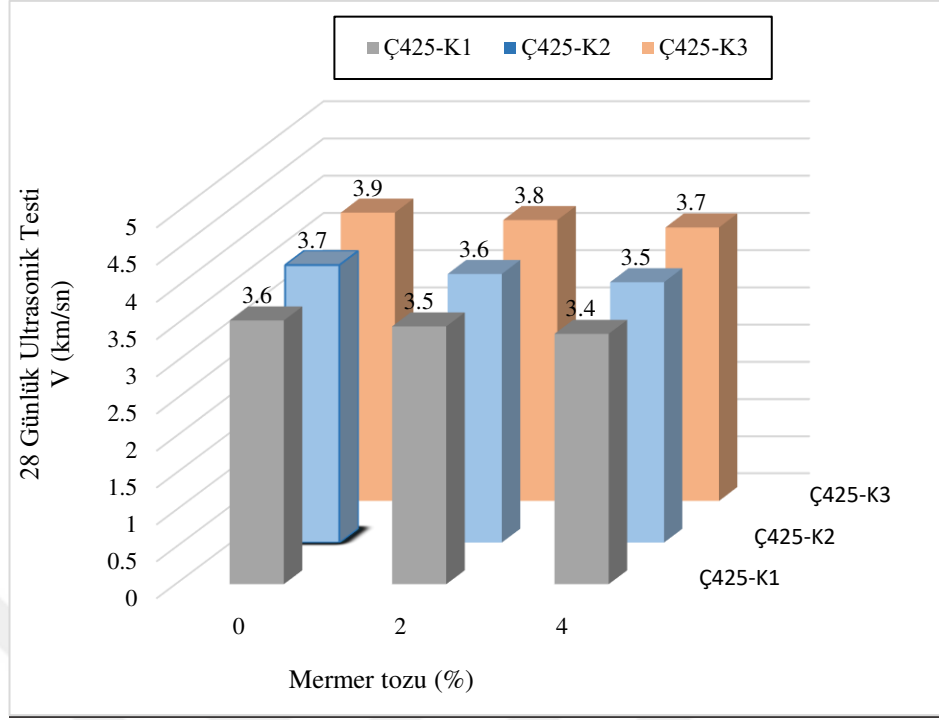
Şekil 4.9. MT, karışım oranına ve 3 günlük ultrases geçiş dalga hızı V değerlerine göre grafik çizimi (%MT-K-V)





Şekil 4.10. MT, karışım oranına ve 7 günlük ultrases geçiş dalga hızı V değerlerine göre grafik çizimi (%MT-K-V)

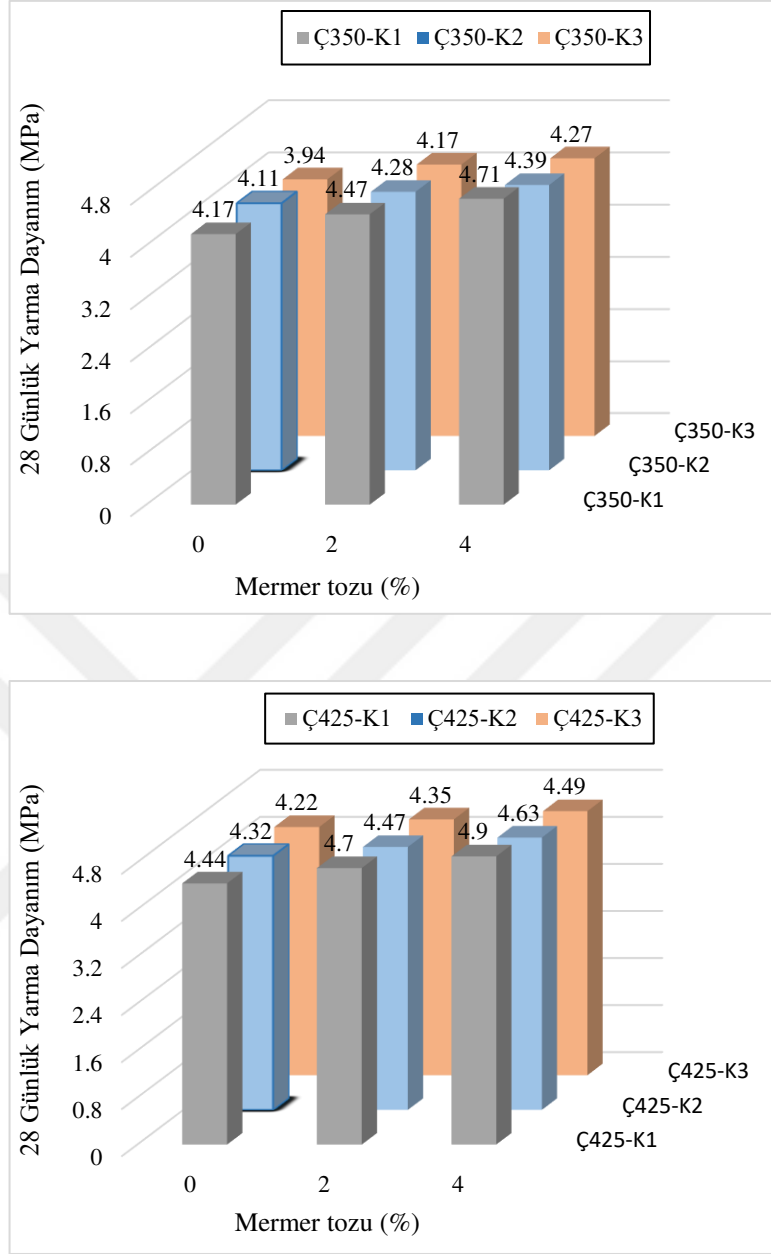




Şekil 4.11. MT, karışım oranına ve 28 günlük ultrases geçiş dalga hızı V değerlerine göre grafik çizimi (%MT-K-V)

4.1.6. Yarma Testi

Yapılan çalışmanın yarma veya yarmada çekme deneyi ile elde edilen verilerin oluşturduğu Şekil 4.12'deki grafiklerine göre değerlendirdiğimizde, üretilen referans numunelere göre mermer tozu oranı, agrega granülometrisindeki ince malzeme ve çimento dozajı yüksek olan numunelerin yarmada çekme dayanımının arttığını görülmektedir. Bu artış ise üretilen numunenin kaliteli olduğunu ve mermer tozunun beton dayanımına pozitif etki ettiğini göstermektedir. Elbette literatördeki mermer tozu ile yapılan çalışmalara baktığımızda belli bir orandan sonra düşüş göstermektedir.



Şekil 4.12. MT, karışım oranı ve 28 günlük yarma dayanımı değerlerine göre grafik çizimi

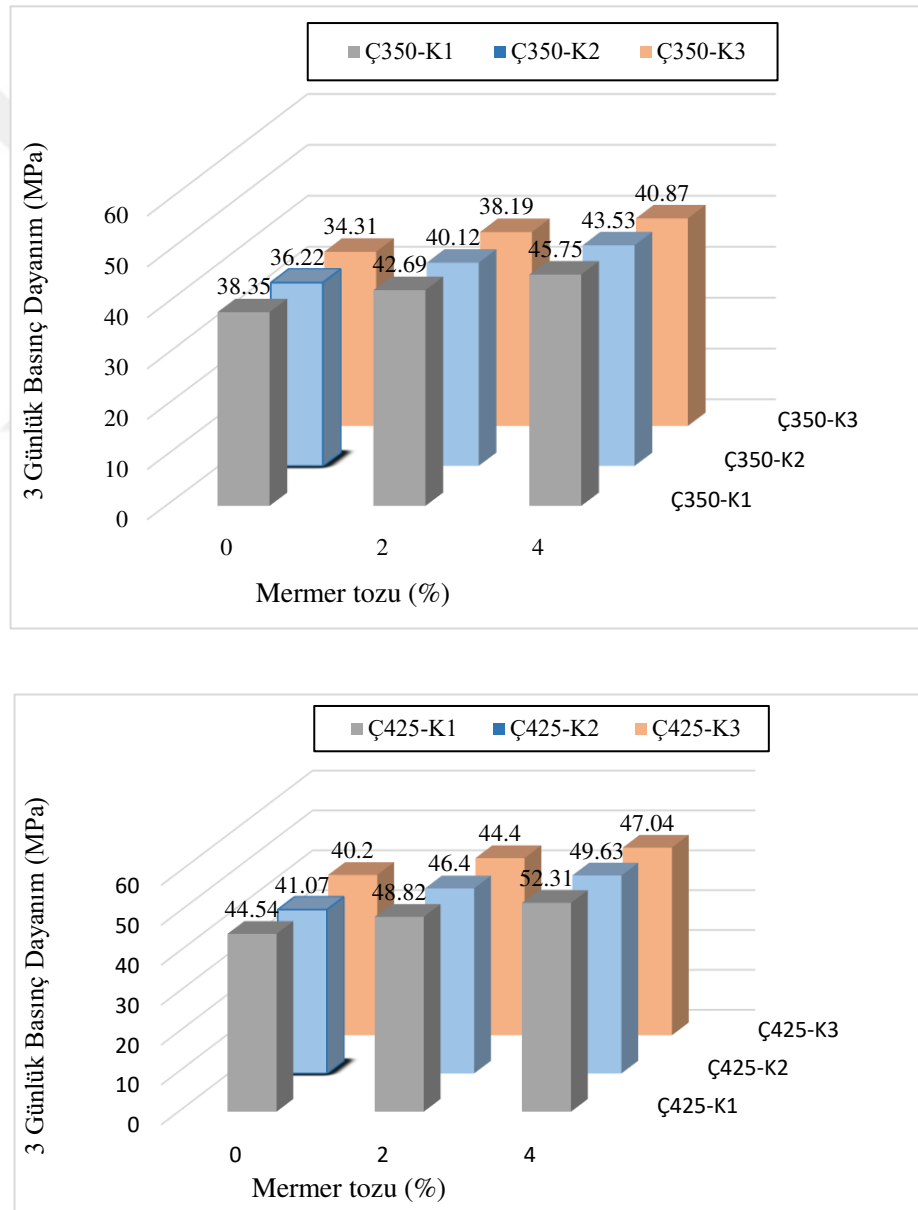
4.1.7. Basınç Testi

Basınç testi tahribatlı test metotlarından biridir. Beton basınç yükleri altında çalıştığı için genellikle üretilen betonların dayanım ve dayanıklılık ölçüsünü belirlemek için basınç testine tabi tutulmaktadır.

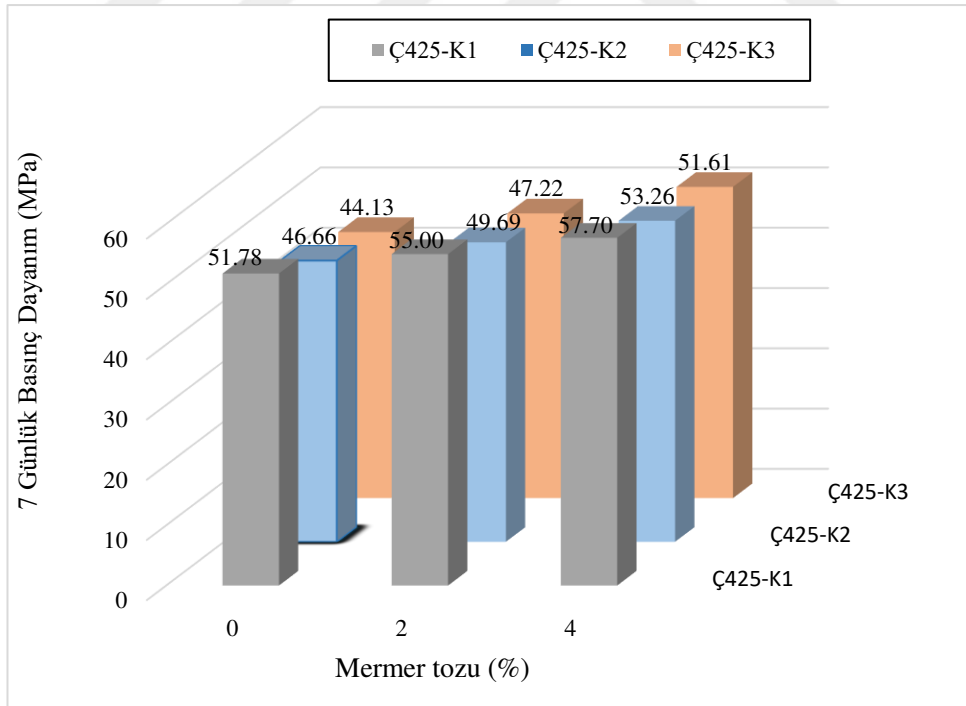
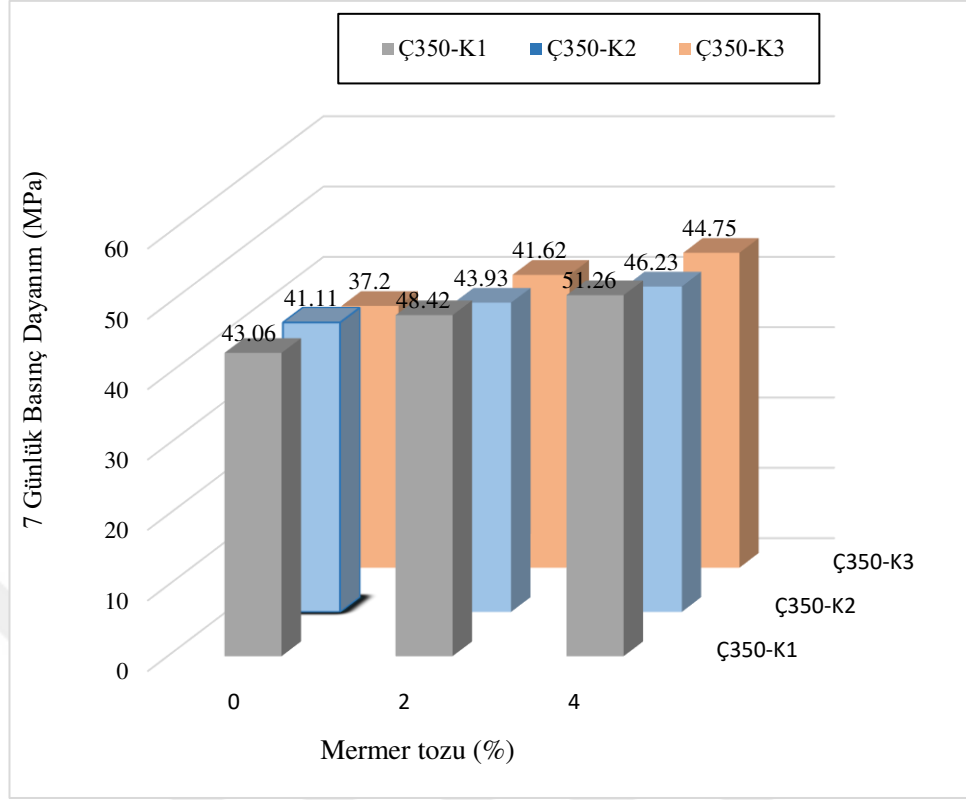
Yapılan bu çalışmada 3 ve 7 gün sonra basınç testine tabi tutulan numunelerin boyutları (150×150×150) mm'dir. 28 gün sonra basınç testine tabi tutulan numunelerin boyutları ise (150×150×150) mm ve (100×100×100) mm'dir. Bu testler sonucu elde ettiğimiz verilerini Şekil

4.13, 4.14, 4.15 ve 4.16'ye göre değerlendirdiğinde mermer tozu oranı, agrega granölometrisindeki ince malzeme ve çimento dozajının artması ile dayanımın arttığını görölmektedir. Aynı şekilde yapılan diğer testlerin sonucu da bu şekilde idi aslında yapılan değer testler basınç testinin kanıtlamasıdır.

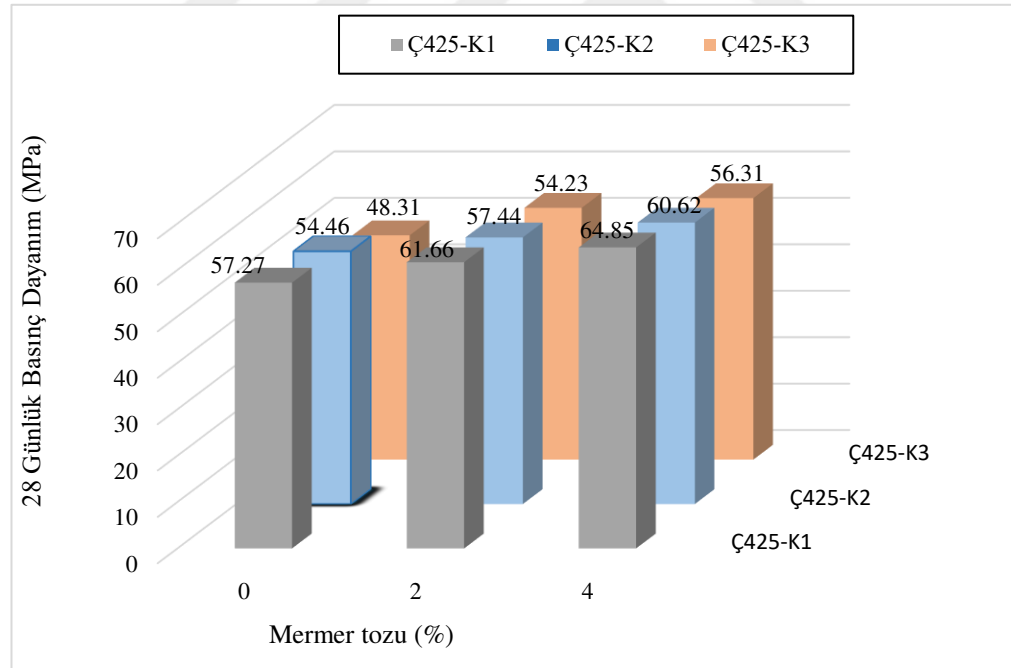
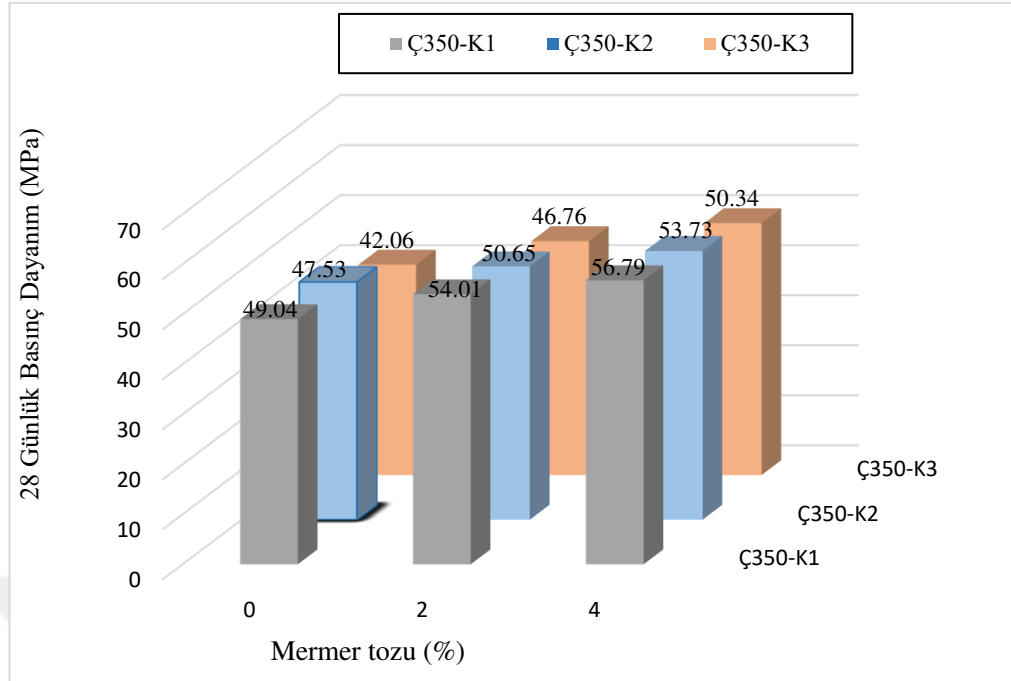
Bu sonuçlara göre bu çalışmadaki değerlendirmeyi yaptığımızda mermer tozu, granölometrideki ince malzeme oranını ve çimento dozajının artması ile üretilen beton numunelerinin dayanımını arttığını görölmektedir. Böylece atık mermer tozunun betonda kullanılmasını herhangi bir sakıncası olmadığını ve aksine beton dayanımına olumlu etkide bulunmaktadır.



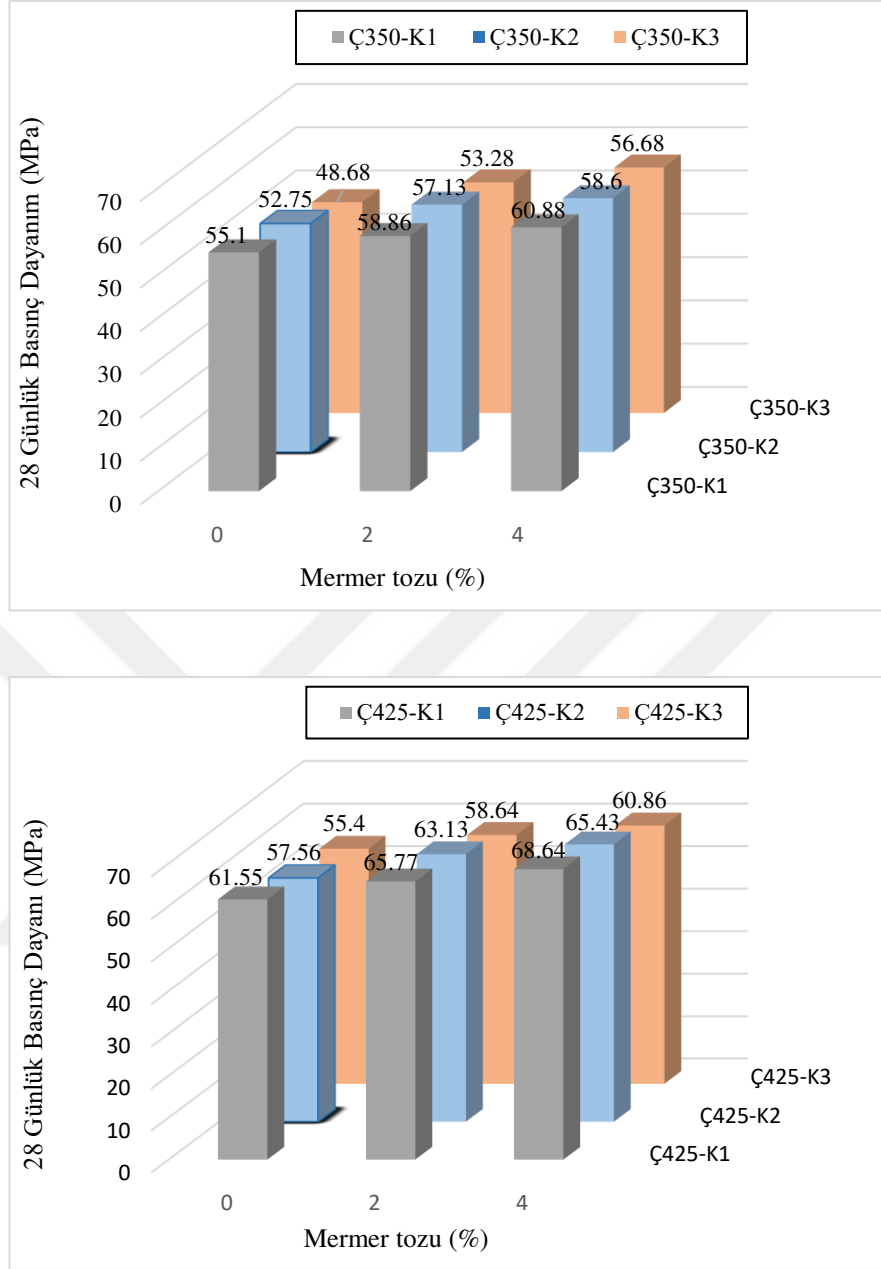
Şekil 4.13. MT, karışım oranı ve 3 günlük basınç dayanım değerlerine göre grafik çizimi (%MT-K-MPa)



Şekil 4.14. MT, karışım oranı ve 7 günlük basınç dayanım değerlerine göre grafik çizimi (%MT-K-MPa)



Şekil 4.15. MT, karışım oranı ve 28 günlük basınç dayanım değerlerine göre grafik çizimi (%MT-K-MPa)

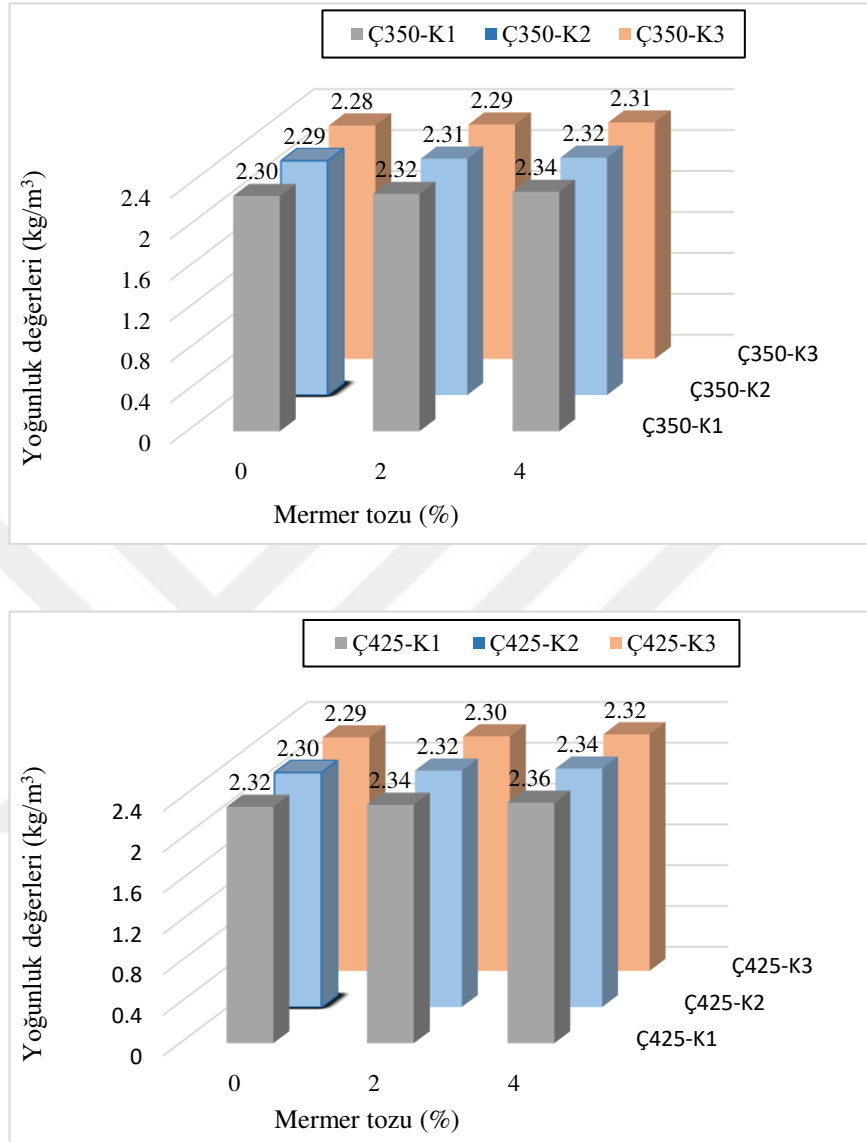


Şekil 4.16. MT, karışım oranı ve 28 günlük basınç dayanım değerlerine göre grafik çizimi (%MT-K-MPa)

4.1.8. Yoğunluk

Bu çalışmada mermer tozu ile üretilen çevre dostu betonun deneysel çalışma esnasında elde ettiğimiz yoğunluk verilerini grafiğe göre değerlendirildiği zaman mermerin, agrega granülometrisinin ve çimento dozajının etkisi görülmektedir. Mermer tozunun artması ile az de olsa yoğunluk, aynı şekilde agrega karışımındaki ince malzemenin ve çimento dozajının artması ile yoğunluğun artması görülmektedir. Böylece bu sonuçları diğer sonuçlar ile kıyas yaparak şöyle bir sonuca ulaşılabilir; yoğunluğun artması, boşluğun azalması ile ters orantılıdır. Aynı şekilde boşluğun azalması basınç dayanımı ile de ters orantılıdır yani üretilen betonun boşluk oranı

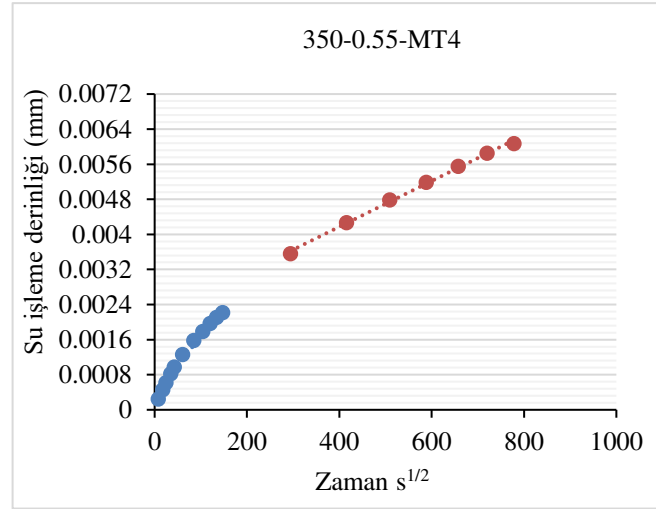
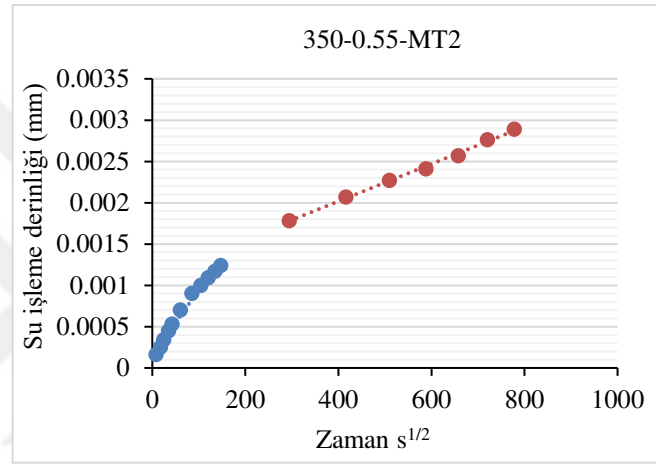
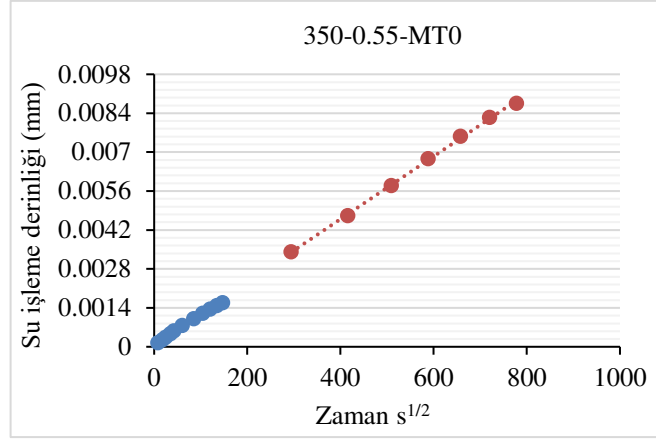
azaldıkça basınç dayanımı artmaktadır. Bu değerlendirme Şekil 4.17'ye göre yapılmıştır.



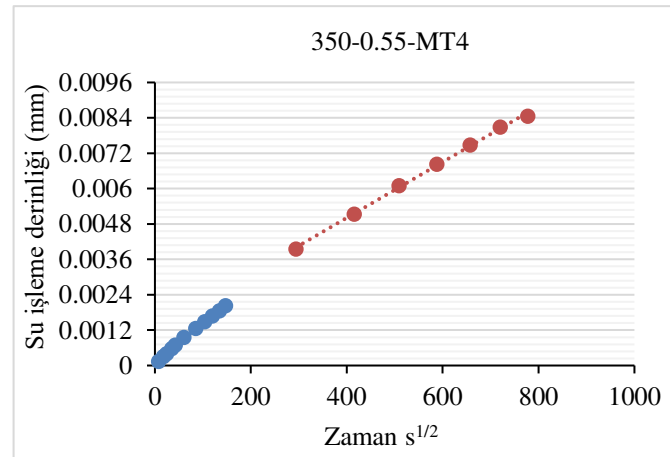
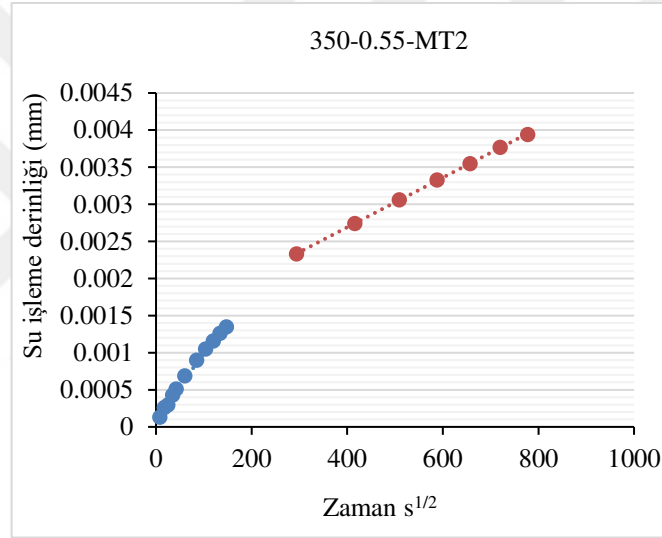
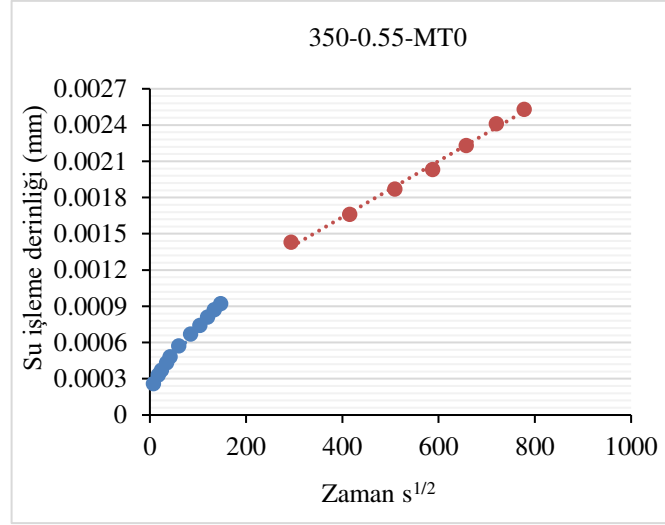
Şekil 4.17. MT, karışım oranı ve üretilen çevre dostu beton yoğunluk değerlerine göre grafik çizimi (%MT-K-d)

4.1.9. Permeabilite (Kılcallık)

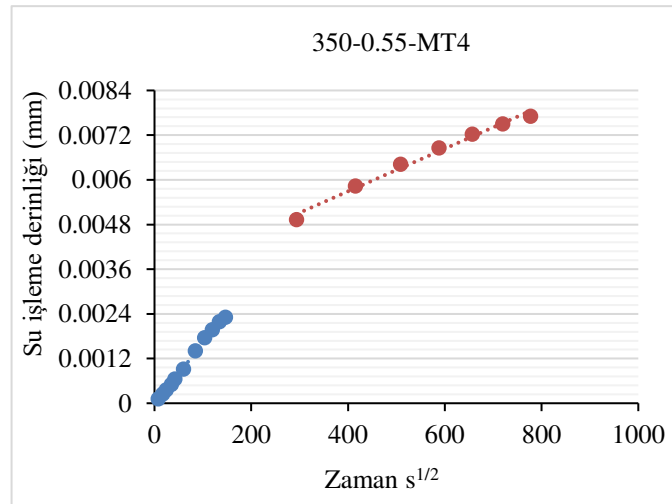
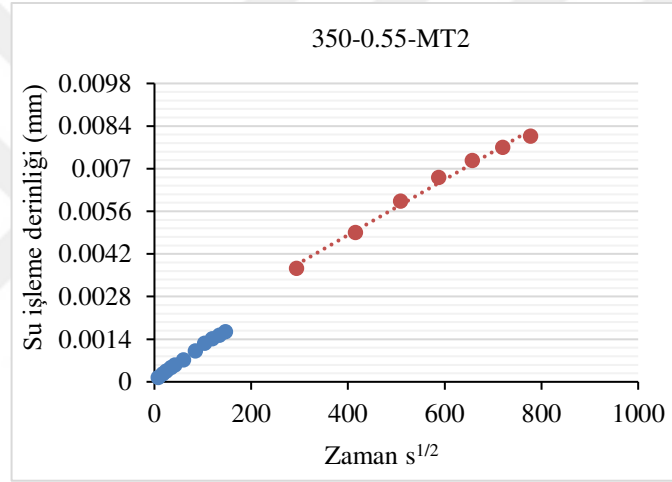
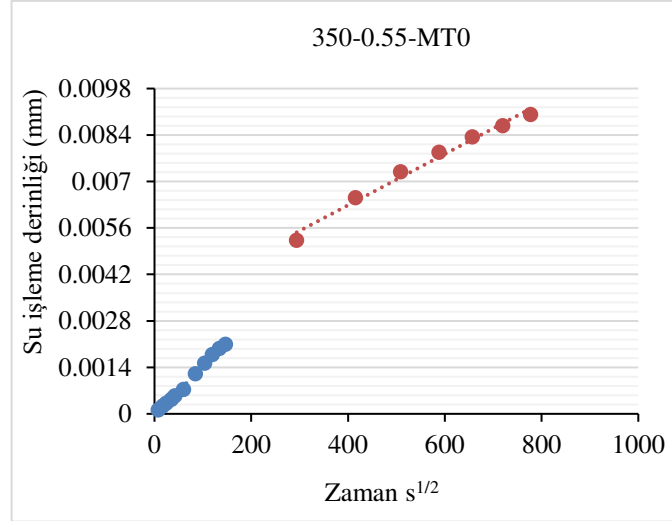
Yapılan çalışmanın permeabilite değerleri ile elde edilen grafik çizimini, inceleyecek olursak, mermer tozu oranının artması ile kılcallık yani su işleme derinliği azaldığı görülmektedir. Aynı şekilde agrega granülometri değişimine göre de değerlendirdiğimizde ince malzemenin artması ile su işleme derinliğinin azalması göze çarpmaktadır. Bunun nedeni, mermer tozu ve agrega karışımındaki ince malzeme oranı artan serilerde boşluk oranı azalmıştır. Yapılan değerlendirmeler Şekil 4.18, 4.19, 4.20, 4.21, 4.22 ve 4.23'e göre yapılmıştır.



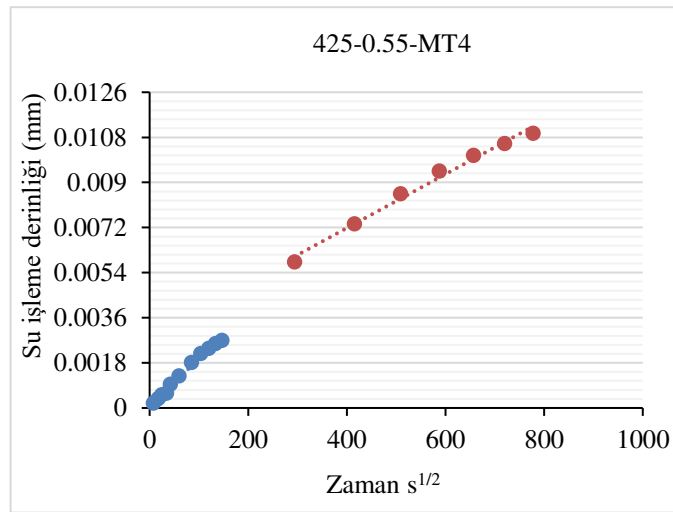
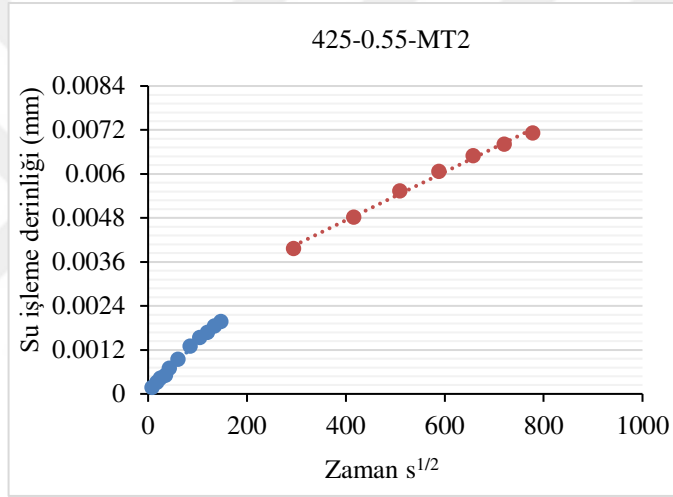
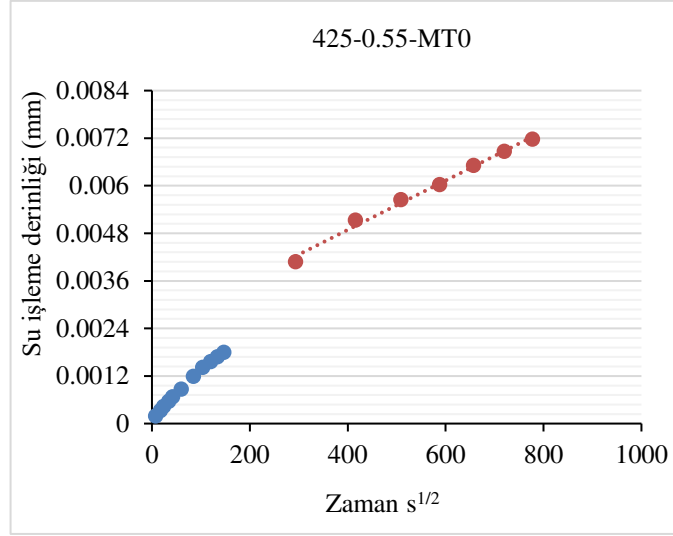
Şekil 4.18. Yapılan çalışmanın karışım-1' e (%65 ince-%35 iri) ait 28 günlük permeabilite deneylerinin grafik çizimi çimento dozajı 350 (kg/m^3)



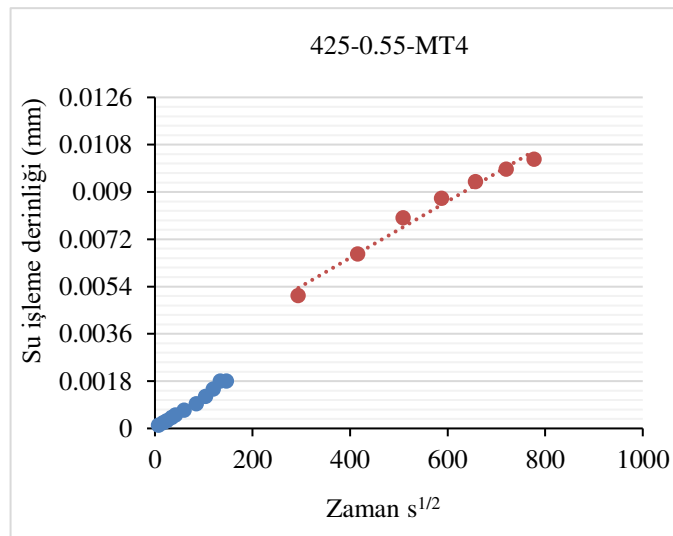
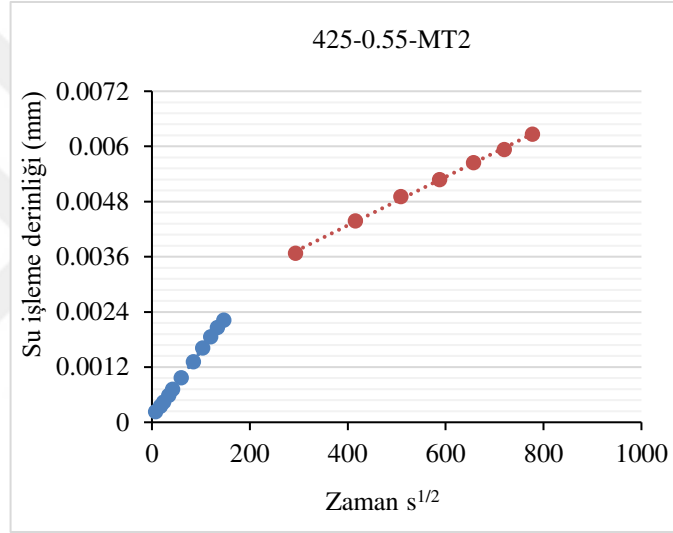
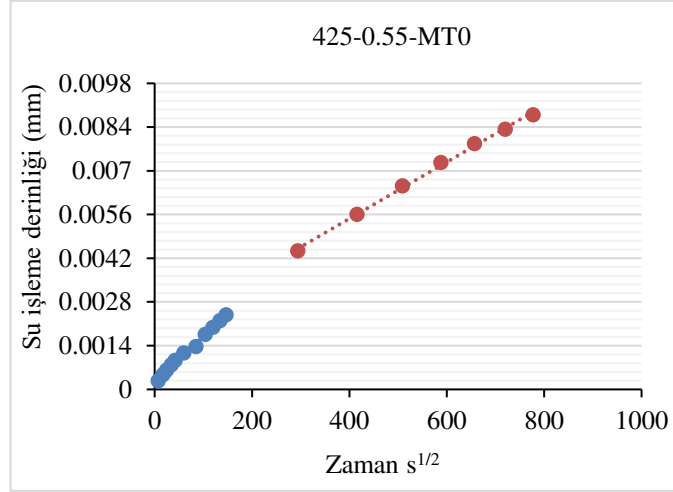
Şekil 4.19. Yapılan çalışmanın karışım-2' ye (%55 ince-%45 iri) ait 28 günlük permeabilite deneylerinin grafik çizimi çimento dozajı 350 (kg/m^3)



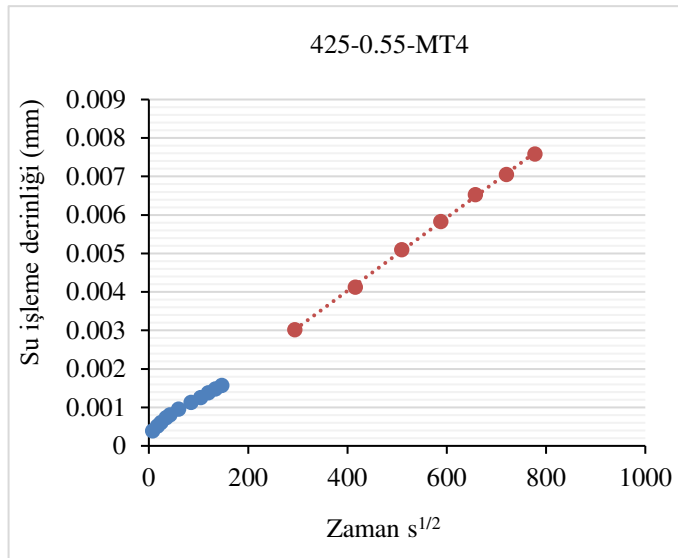
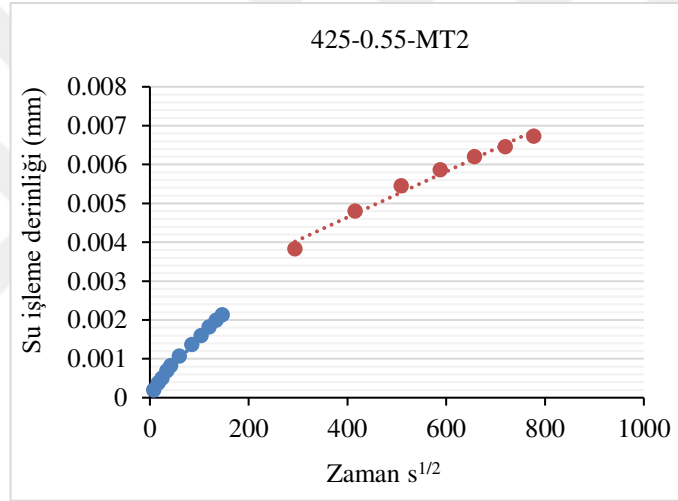
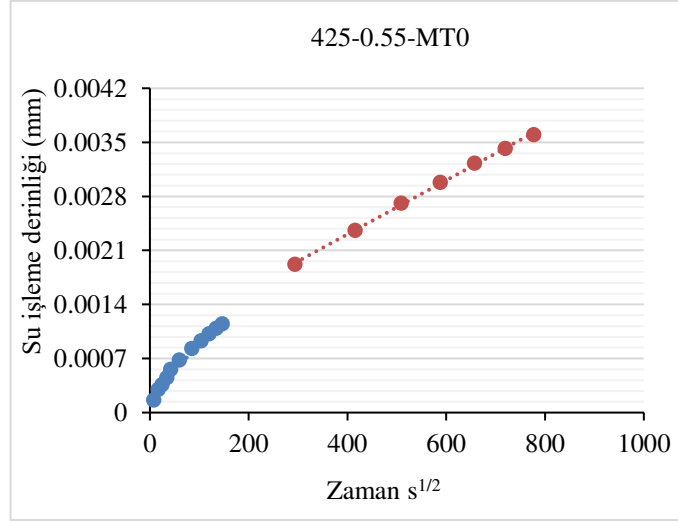
Şekil 4.20. Yapılan çalışmanın karışım-3' e (%45 ince-%55 iri) ait 28 günlük permeabilite deneylerinin grafik çizimi çimento dozajı 350 (kg/m^3)



Şekil 4.21. Yapılan çalışmanın karışım-1' e (%65 ince-%35 iri) ait 28 günlük permeabilite deneylerinin grafik çizimi çimento dozajı 425 (kg/m³)



Şekil 4.22. Yapılan çalışmanın karışım-2' ye (%55 ince-%45 iri) ait 28 günlük permeabilite deneylerinin grafik çizimi çimento dozajı 425 (kg/m^3)



Şekil 4.23. Yapılan çalışmanın karışım-3' e (%45 ince-%55 iri) ait 28 günlük permeabilite deneylerinin grafik çizimi çimento dozajı 425 (kg/m^3)

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan çalışmada elde edilen verilerin önemli sonuçları ve bu sonuçlara göre gereken öneriler aşağıda sırası ile sunulmaktadır.

1- Mermer tozu ile üretilen çevre dostu betonu, elde edilen çökme değerlerine göre işlenebilirliğini sonuçlandırdığımız zaman toplam karışımın yüzde (%2 ve %4) olarak seçilen mermer tozu agrega ile yer değiştirerek işlenebilirliği artırmaktadır ama bu oran belli bir orana kadar artırır fazlası ise mermer tozunun topraklanma özelliğinden dolayı işlenebilirliği azaltacaktır.

2- Üretilen çevre dostu betonun birim hacim ağırlığına mermer tozunun nasıl bir etkiye bulunduğunu değerlendirdiğimiz zaman referans numunelere göre mermer tozu olan numunelerin birim hacim ağırlıkları artmaktadır. Bu artış mermer tozu oranının artışı ile artış göstermektedir. Ağırlığın artması ise üretilen betonun boşluk oranının azalması demektir. Aynı zamanda dayanımın da artması demektir.

3- Kür etkisinin normal betonlarda olduğu gibi mermer tozu ile üretilen çevre dostu betonlarda dayanımı artırmaktadır veya betonun erken yaş dayanımına olumlu etkisini göstermektedir.

4- Elde edilen geri sıçrama (test çekici) değerlerine göre üretilen çevre dostu betonunu incelersek referans numunelere göre mermer tozu olan numunelerin değerlerinin artışı görülmektedir. Elbette bu artış (etkiye tepki) değerlerinin yükselişi üretilen betonun daha dayanımlı olduğunu göstermektedir. Bu da atık mermer tozunun betonda kullanımının herhangi bir olumsuz etkisi olmadığını kanıtlar.

5- Yapılan çalışmada üretilen çevre dostu betonların ultrases geçiş dalga hızı testi ile elde edilen verilerine bakıldığında, mermer tozu oranının artması ile düşüş göstermektedir. Bunun nedeni ise üretilen numunelerin boşluk oranına bağlıdır, boşluk oranı az olunca üretilen numuneler kendi bünyesinde az miktarda hava bulundurlar. Bu ise dalga hızının göndericiden alıcıya hızlı bir şekilde ulaştığını göstermektedir. Ayrıca mermer tozunun betondaki boşluğu azaltarak dayanıma olan olumlu etkisini göstermektedir.

6- Mermer tozunun, üretilen çevre dostu beton üzerindeki etkisini yarma deneyi ile elde ettiğimiz değerlere göre değerlendirerek sonuçlandırdığımızda nasıl ki diğer testlerde olumlu sonuç veriyse yarma testinde de olumlu sonuç vermektedir yani dayanımın mermer tozunun artması ile yükseldiğini görülmektedir. Bu da mermerin tozunun beton karışımında ilave edilerek kullanılabilirliğini göstermektedir.

7- Yapılan çalışmada mermer tozu ile üretilen çevre dostu betonun kalitesinin belirlenmesini en önemli testlerden biri yani basınç testi ile elde ettiğimiz verilere göre değerlendirdiğimizde, seçilen farklı dozaj ve farklı granülometrilere, referans numunelere göre mermer tozunun artması

ile dayanımın arttığını müşahade edilmektedir. Buna göre beton karışımında kullanılan mermer tozunun dayanıma pozitif yönden etkisi olduğu görülmektedir. Bu çalışmada kullanılan testler aslında basınç testinin bir kanıtıdır. Yani onlardan elde ettiğimiz sonuçlara göre mermer tozu ile üretilen çevre dostu betonun basınca karşı ne kadar dayanımlı ve dayanıklı olduğu bir daha kanıtlanmaktadır.

8- Üretilen betonun dayanım özelliklerini elde ettiğimiz yoğunluk değerlerine göre sonuçlandırırsak, yoğunluğun mermer tozunun artması ile arttığı görülmektedir. Bu artış ise üretilen betonun boşluk oranının azalması ile ters orantılıdır yani yoğunluk arttıkça boşluk oranı azalmaktadır. Bu da mermer tozunun üretilen çevre dostu betonun üzerindeki olumlu etkisini göstermektedir.

9-Mermer tozu ile üretilen çevre dostu betonun permeabilite değerlerine göre değerlendirildiğinde, mermer tozunun artması ile su işleme derinliği azalmaktadır. Bunun nedeni, mermer tozu oranı artan serilerde boşluk oranı azalmıştır. Dolayısıyla boşluk oranı azaldıkça dayanım artmış, su işleme derinliği azalmıştır.

Bu sonuçlara göre atık mermer tozunun beton karışımında kullanarak, çevre dostu betonun üretilmesinin mümkün olduğunu, çevre kirliliğini azaltarak doğada fayda sağladığını ve aynı zamanda kaynakların az tüketilmesi ile ekonomik olarak katkı sağladığı söylenebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Özel, C., (2007). Katkılı Betonların Reolojik Özelliklerinin Taze Beton Deney Yöntemlerine Göre Belirlenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 249s., Isparta.
- [2] Bentz D.P. (2008). A Review of Early-Age Properties of Cement-Based Materials, Cement and Concrete Research, 38 (2): 196-204.
- [3] Akman., S., 'Beton Teknolojisine Giriş' Đ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, Yapı Malzemeleri ABD, İstanbul.
- [4] Erdoğan, T.Y., (2010).” Beton”, ODTÜ Yayıncılık, Ankara.
- [5] 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.
- [6] Baradan, B., Yazıcı, H., Ün, H., Beton ve Betonarme Yapılarda Kalıcılık (Durabilite), Türkiye Hazır Beton. Birliği Yayınları, İstanbul, 2010.
- [7] Gönen, T., Yazıcıoğlu, S. 2004. Farklı Nem Ortamlarındaki Betonlarda Karbonatlaşma Gelişimi, Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 16(2): 367-373.
- [8] Brueckner, R. Accelerating the Thaumasite Form of Sulfate Attack and an Investigation of Its Effects on Skin Friction, Ph.D. Thesis, Birmingham University, 2007
- [9] Ramyar, K. 2007. Portland Çimentosu – Süperakışkanlaştırıcı Katkı Uyumunu Etkileyen Faktörler, 2. Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyumu ve Sergisi, Ankara.
- [10] Özcan, A., 2006. “Endüstriyel Atıklar ve Polipropilen Lif İçeren Saha Betonlarının Özelliklerinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Karaelmas Üniversitesi, Zonguldak.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] Demir, Đ., “Mermer Tozunun Kullanım Alanları”, bk.aku.edu.tr.
- [14] Kisman Z. A., ve Kan Ö. D., 2011. “Elazığ Mermeri Sektörel Arastırması”, Fırat Kalkınma Ajansı Raporu, Elazığ, Türkiye.
- [15] Türkiye İh. Mermer Sempozyumu(Mersem '2001) Bildiriler Kitabı 3-5 Mayıs 2001 /Afyon.
- [16] Kun, N., 2013. Mermer Jeolojisi ve Teknolojisi (genişletilmiş 2. Baskı), 222 s., İzmir.
- [17] DPT, “Madencilik Özel Đhtisas Komisyonu Raporu”, 2001.
- [18] Görgülü, K., 1994. Bazı Mermer Ocaklarında (Isparta - Burdur - Sivas) İşletme Sistemlerinin İncelenmesi ve Öncelikli Kaya Madde/Kütle Özellikleri İle İlişkilendirilmesi Araştırmaları. C.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Y.L. Tez Sivas. 95 s.
- [19] YESDLKAYA, L., 1995. “Mermer Madenciliği, Afyon Kocatepe Üniv. Yay., Afyon , s.6.
- [20] Köktürk, U., 2002. “Endüstriyel Hammaddeler”, Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Yayını, Maden Mühendisliği Bölümü, İzmir.,

- [21] Tosun, A., Türkiye'nin Mermer İhracatını Arttırma Olanaklarının Araştırılması, 2007.
- [22] Uyanık, T., 2001. "Doğaltaslar Dış Pazar Arastırması", T.C. Basbakanlık Dış Ticaret Müstesarlığı, Dhracatı Gelistirme Etüt Merkezi Yayını, Ankara.
- [23] Sentürk, A., Gündüz, L., Tosun, D.T., Sarısık, A., 1996. "Mermer Teknolojisi", Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü, 242s.
- [24] Erkek D., ve Özdemir S., 2011. "Mermer ve Traverten Sektörüne Küresel ve Bölgesel Yaklaşım"
- [25] Öztürk B., 2006. "Mermer Sanayisindeki İşletmelerin Üretim ve Pazarlama Sorunlarının Araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, Muğla Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Muğla.
- [26] DPT, "Madencilik Özel İştisas Komisyonu Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Çimento Hammaddeleri Çalışma Grubu Raporu", Cilt-III (Mermer), Yayın No: DPT: 2434-491, Ankara, 1996.
- [27] Kışman Z. A., ve Kan Ö. D., 2011. "Elazığ Mermeri Sektörel Araştırması", Fırat Kalkınma Ajansı Raporu, Elazığ, Türkiye.
- [28] Sarıtaş A., 2006. "Burdur İli Mermer Sektörünün Kurumsal ve Ekonomik Yapısı", Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Antalya.
- [29] Kulaksız, S., Güney, M.A., Güngör, N., Büyükgeç, M., 2001. Madencilik Faaliyetleri Sonucu Topografik Yapısı Bozulan Alanların Doğaya Yeniden Kazandırılmasına Yönelik Uygulamalar Hakkında Rapor ve Öneriler, 39., Ankara. (yayınlanmamış).
- [30] Anon a, 2008, Makine Teknolojisi, Mermer Blok Üretimi, Milli Eğitim Bakanlığı, Mesleki Teknik Eğitim ve Öğretim Sisteminin Geliştirilmesi Projesi, Ankara, 50 s. Seramik, plastik, Cam, kağıt, yol yapımı, Beton karışımında... üretiminde kullanılmaktadır
- [31] Beycioğlu, A., Basyiğit C. ve Subası, S., 2008. "Endüstriyel Atıkların İnsaat Sektöründe Kullanımı ile Geri Kazanılması ve Çevresel Etkilerinin Azaltılması", Çevre Sorunları Sempozyumu, Kocaeli, 14-17, Mayıs, 1387-1394.
- [32] Bilgin, N., 2010. "MERMER TOZU ATIKLARININ YAPI MALZEMESİ ÜRETİMİNDE KULLANIMI", Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [33] Eleren A., Eros M., 2007, Mermer Blok Kisi Yöntemlerinin Bulanık Topsis Yöntemiyle Değerlendirilmesi, Madencilik 46(3), 9-22.
- [34] Çimen H., Çınar S. M. & Nartkaya M. 2008. The Investigation of Marble Cutting Parameters for Energy Consumption, International Journal of Mathematical Models and Methods in Applied Sciences, 4(2), 463- 472
- [35] Çimen H., Çınar S. M. & Nartkaya M. 2008. The Development of Software and Hardware for Marble Cutting Tests, 2nd WSEAS Int. Conf. on Computer Engineering and Applications (CEA'08) Acapulco, Mexico, January 25-27, 244-249
- [36] Yılmaz N. G. & Gaytan R. M. 2008. Effect of sawing rate on force and energy requirements in the circular sawing of granites, Journal of Eng&Arch.Fac. Eskişehir Osmangazi University, 21(2), 59-74
- [37] Sakaoğlu, M., 2008, Mermer fabrikalarında kullanılan dairesel testere blok kesme makinalarında (S/T) performans analizleri, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Danışmanlar: Ediz G. İ., Akçakoca H.,
- [38] Engin İ. C. & Özkan E. 2008. Blok Kesme Makinalarının Enerji Tüketiminin İncelenmesi,

Mersem'2008 Türkiye VI. Mermer ve Doğaltaş Sempozyumu, Haziran 26-27, Afyonkarahisar, Türkiye, 141-148

- [39] Caner M., Akarslan E., 2009, Mermer Kesme İşleminde Spesifik Enerji Faktörünün ANFIS ve YSA Yöntemleri ile Tahmini, Pamukkale Mühendislik Bilimleri Dergisi., 15(2), 221-226
- [40] M. Başpınar, G. Görhan ve E. Kahraman, «Mermer Tozu Ve Atıklarının Kullanım Alanlarının Araştırılması,» 6. Mermer Ve Doğaltaş Sempozyumu, 2008
- [41] TUMMER (Türkiye Mermer ve Doğaltaş Makine Üreticileri Birliği), “Mermer ve Doğaltaş Atıklarının Ekonomiye Kazandırılması Toplantısı Raporu”, Ankara 1-3 (2013).
- [42] Bilgin, Ö., Koç, E., 2013. Mermer Madencilğinde Çevresel Etkiler, Madencilik Türkiye Dergisi, sayı 28, 68-79
- [43] [Çevrimiçi]. Available: www.immib.org.tr. [Erişildi: 15 3 2014].
- [44] Uyanık, T., 2008, Doğaltaşlar, T. C. Başbakanlık Dış Ticaret Müsteşarlığı İhracatıGeliştirme Etüd Merkezi, Ankara.
- [45] Ceylan H.(2000) “Mermer Fabrikalarındaki Mermer Toz Atıklarının Ekonomik Olarak Değerlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta.
- [46] Akbulut, H. & Gurer, C, 2003. Mermer Atıklarının Çevresel Etkileri ve Yol Katmanlarında Tekrar Kullanım imkanları, Türkiye IV. Mermer Sempzyumu Bildiriler Kitabı, 18-19 Aralık 2003, Afyon.
- [47] Alyamaç, K. E.; Ince, R. (2009). A preliminary concrete mix design for SCC with marble powders, Construction and Building Materials, Vol. 23, No. 3, 1201–1210. doi:10.1016/j.conbuildmat.2008.08.012
- [48] Taki GÜLER Arş Gör Ercan POLAT MUĞLA BÜYÜKŞEHİR BELEDİYESİ, E. (n.d.). MERMER MADENCİLİĞİNDE ÇEVRESEL YAKLAŞIMLAR.
- [49] (Önenç, 1998; Kırgız, 2007; Özdamar vd., 2005). Örenç, D.İ., 1998. Sedimanter Kaya Mermerciliğinde Bloklarda Ürün Alınmasını Engelleyen Jeolojik Oluşumlar, Maden Tektik ve Arama Doğal Kaynaklar ve Ekonomi Bülteni, 1-2, 61-63.
- [50] Özdamar, Z. ve Yavuz, B., 2005. Türk Yapı Sektörü Raporu, Yapı-Endüstri Merkezi, İstanbul 70-77, 100-102, 147-160
- [51] Kırgız, M.S., 2007. Mermer ve Tuğla Endüstrisi Atıklarının Çimento Üretiminde Mineralojik Katkı Olarak Kullanılması, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara
- [52] Öztürk Ö., Çelikkol M., Erkan, M.(2007) ”Türkiye Agregas Sektör Raporu”, Hazır Beton Dergisi, Kasım- Aralık.
- [53] DOĞU AKDENİZ KALKINMA AJANSI, (2015), TR63 Bölgesi Çimento Sektörü Raporu, http://www.dogaka.gov.tr/Icerik/Dosya/www.dogaka.gov.tr_626_KN2F58CG_cimento-Sektor-Raporu-2015.pdf, Erişim Tarihi: 23.06.2016.
- [54] Corinaldesi, V.; Moriconi, G. (2003). The Influence of Mineral Additions on the Rheology of Self-Compacting Concrete, Special Publication, Vol. 217, 227–240. doi:10.14359/12916
- [55] Ünal, O. ve Kibici, A., 2001. Mermer Tozu Atıklarının Beton Üretiminde Kullanılmasının Araştırılması, Türkiye 3. Mermer Sempozyumu, Mayıs, Afyon, Bildiriler Kitabı 317-325.
- [56] Demirel, B. ve Yazıcıoğlu, S., 2010. İnce Malzeme Olarak Kullanılan Atık Mermer Tozunun Betonun

Mekanik Özellikleri Üzerine Etkisi, International Sustainable Buildings Sempodium, Mayıs, Ankara, Bildiriler Kitabı: 172-175.

- [57] Mümin F_L_Z *, Cengiz ÖZEL *, Oktar SOYKAN*, Yunus EK_Z* Süleyman Demirel Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Eğitimi Bölümü, 32260 Isparta/ TÜRKİYE, cozel@tef.sdu.edu.tr
- [58] (PDF) Green Concrete–An Emerging Trend in India. (n.d.), from https://www.researchgate.net/publication/316432326_Green_Concrete_An_Emerging_Trend_in_India, accessed 18-12-2019
- [59] 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
- [60] Błaszczyszki, T.; Król, M. (2015). Usage of Green Concrete Technology in Civil Engineering, Procedia Engineering, Vol. 122, 296–301. doi:10.1016/j.proeng.2015.10.039
- [61] Düşük maliyetli ve çevre dostu çimento üretmek mümkün mü? | Euronews. (n.d.), from <https://tr.euronews.com/2018/10/08/dusuk-maliyetli-ve-cevre-dostu-cimento-uretmek-mumkun-mu>, accessed 20-6-2019
- [62] Vishwakarma, V.; Ramachandran, D. (2018, February 20). Green Concrete mix using solid waste and nanoparticles as alternatives – A review, Construction and Building Materials, Elsevier Ltd, 96–103. doi:10.1016/j.conbuildmat.2017.11.174
- [63] (PDF) A Review on Green Concrete. (n.d.), from https://www.researchgate.net/publication/281774385_A_Review_on_Green_Concrete, accessed 18-12-2019
- [64] Imbabi, M. S.; Carrigan, C.; McKenna, S. (2012). Trends and developments in green cement and concrete technology, International Journal of Sustainable Built Environment, Elsevier B.V., 194–216. doi:10.1016/j.ijsbe.2013.05.001
- [65] 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
- [66] Marinković, S.; Radonjanin, V.; Malešev, M.; Ignjatović, I. (2010). Comparative environmental assessment of natural and recycled aggregate concrete, Waste Management, Vol. 30, No. 11, 2255–2264. doi:10.1016/j.wasman.2010.04.012
- [67] Singh, N.; Mithulraj, M.; Arya, S. (2018, November 1). Influence of coal bottom ash as fine aggregates replacement on various properties of concretes: A review, Resources, Conservation and Recycling, Elsevier B.V., 257–271. doi:10.1016/j.resconrec.2018.07.025
- [68] Domingo-Cabo, A.; Lázaro, C.; López-Gayarre, F.; Serrano-López, M. A.; Serna, P.; Castaño-Tabares, J. O. (2009). Creep and shrinkage of recycled aggregate concrete, Construction and Building Materials, Vol. 23, No. 7, 2545–2553. doi:10.1016/j.conbuildmat.2009.02.018
- [69] Radonjanin, V.; Malešev, M.; Marinković, S.; Al Maly, A. E. S. (2013). Green recycled aggregate concrete, Construction and Building Materials. doi:10.1016/j.conbuildmat.2013.06.076
- [70] Marinković, S.; Dragaš, J.; Ignjatović, I.; Tošić, N. (2017). Environmental assessment of green concretes for structural use, Journal of Cleaner Production, Vol. 154, 633–649. doi:10.1016/J.JCLEPRO.2017.04.015
- [71] Demirel, S.; Bölüm, Ç.; Fakültesi, M.; Ömer Halisdemir Üniversitesi, N.; Mühendisliği Bölümü, İ.;

- Geliş, T. (2019). Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Omer Halisdemir University Journal of Engineering Sciences, Vol. 8, No. 1, 1–8. doi:10.28948/ngumuh.516780
- [72] Bölümleştiren Enstitüsü, F.; Danışman, T.; Aygül Yeprem, D. H. (2010). Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Mermer Tozu Atıklarının Yapı Malzemesi Üretiminde Kullanımı Metalurji Ve Malzeme Müh. Nursev Bölümünde Fbe Metalurji Ve Malzeme Anabilim Dalı Malzeme Programında Hazırlanan Yüksek Lisans Tezi
- [73] Aydeniz, S., 2012, Agregada dane boyutunun beton dayanımına etkisi ve su emmesine etkilerinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 1-19.
- [74] Yeniboğalı, A. ve Ertün, T., 2005. Çimentoda Yeni Standartlar ve Mineral Katkılar, TÇMB, Ar-Ge Enstitüsü, Şubat, Ankara, YO4-01.
- [75] Açar, E., Öztaş, G. ve Süttaş, İ., 1998. Beton Yollar (Rijit Yol Üst Yapıları), İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Matbaası, Yayın No.1594, İstanbul.
- [76] Postacıoğlu, B. : Yapı Malzemesi Problemleri, Çağlayan Kitabevi, İstanbul 1975.
- [77] Xie, Y., Li, Y., and Long, G., 2005, Influence of Aggregate on Properties of Self- Consolidating Concrete, First International Symposium on Design, Performance and Use of Self-consolidating Concrete (May 26-28, 2005), Z. Yu, C. Shi, K. H. Khayat and Y. Xie (The editors), China, 161-171.
- [78] TS 706 EN 12620. (n.d.), from <https://www.scribd.com/document/30560526/TS-706-EN-12620>, accessed 13-12-2019
- [79] Kırmataş Hammaddeleri Ve Standartları Raw Materials Of Crushed Stone And Their Standards. (N.D.)
- [80] URL-1, <https://www.cimsa.com.tr/> Kimyasal Katkılar 24 Haziran 2019.
- [81] ACI 212.3R-10, “Report on Chemical Admixtures for Concrete”, American Concrete Institute, 65p., 2010.
- [82] Hodson, V., 1990. Concrete Admixtures, Newyork, 211.
- [83] T.S.E., 2002. Kimyasal Katkılar- Beton Harç ve Şerbet İçin Bölüm 2: Beton Katkıları Tarifler, Özellikler, Uygunluk, İşaretleme ve Etiketleme, TS EN 934-2, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [84] Aruntaş, H.Y. ve Tokyay, M., 1996. Katkılı Çimento Üretimi Diatomitin Pozolanik Malzeme Olarak Kullanılabilirliği, Çimento ve Beton Dünyası Dergisi, 1,4,33-41.
- [85] T.S.E., 2002. Çimento-Bölüm 1: Genel Çimentolar-Bileşim, Özellikler Ve Uygunluk Kriterleri, Ts En 197-1, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [86] M. Collepardi, G. Baldini And M. Pauri, The Effect Of Pozzolanas On The Tricalcium Aluminate Hydration, Cement And Concrete Research, 8, No. 6, Pp. 741–51 (1978).
- [87] Tanyildizi, H.; Coşkun, A. (2011). Elazığ Yöresi Vişne Mermer Tozu Katkılı Hafif Betonun Basınç Ve Ultrasonik Ses Geçirgenliği Özelliğinin Araştırılması, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi, Vol. 27, No. 2, 150–154
- [88] URL-2, <http://www.betonteknik.com.tr/115-karisim-suyu> 24 Haziran 2019.
- [89] Neville, A.M., 2004. Properties of Concrete, Pearson Education Limited Fourth Edition, England.
- [90] TS EN 1008, 2003, Beton-Karma Suyu-Numune Alma, Deneyler ve Beton Endüstrisindeki İşlemlerden Geri Kazanılan Su Dahil, Suyun, Beton Karma Suyu Olarak Uygunluğunun Tayini

Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

- [91] Erdoğan, T.Y., 2002. Beton, ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş., Ankara, 1-757.
- [92] TS EN 206-1/Nisan 2002 Taze beton kıvam sınıfları
- [93] TS EN 12350-2, “Beton-Taze Beton Deneyleri- Bölüm 2: Çökme (Slump) Deneyi”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2002.
- [94] TS 2941, “Taze Betonda Birim Ağırlık, Verim Ve Hava Miktarının Ağırlık Yöntemi İle Tayini”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1978.
- [95] Erdoğan, T.Y., 2003. Beton, ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş., Ankara, 741 s.
- [96] Young, J.F., 1998. A Review of The Pore Structure of Cement Paste and Concrete and Its Influence On Permeability, S.P.108, Permeability of Concrete, ACI.
- [97] TS EN 12390-2. Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 2 : Dayanım deneylerinde kullanılacak deney numunelerinin yapımı ve küre tâbi tutulması.
- [98] TS EN 12504-2, Yapılarda Beton Deneyleri-Bölüm 2:Tahribatsız Deneyler-Geri Sıçranma Sayısının Tayini, 2004.
- [99] TS EN 12504-4, Beton Deneyleri-Bölüm 4:Ultrases Geçiş Hızının Tayini, 2004.
- [100] TS EN 12390-6/Nisan 2002 - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 6 : Deney numunelerinin yarmada çekme dayanımının tayini
- [101] Ersoy, U., 1985. Betonarme - Temel İlkeler ve Taşıma Gücü, Bizim Büro Basımevi, Ankara, 643 s.
- [102] Neville, A.M., 1981. Properties of Concrete, Pitman Books Limited, London, 544p.
- [103] Troxell, G.E., Davies, H.E. ve Kelly, J.W., 1968. Composition and Properties of Concrete, Mc Graw-Hill Book Company, Newyork, pp.528.
- [104] Baradan, B.,Yazıcı, H. ve Ün, H., 2002. Betonarme Yapılarda Kalıcılık (Durabilite), DEÜ Mühendislik Fakültesi Yayınları, İzmir, 89-185.
- [105] Ersoy, U., 1985. . Betonarme - Temel İlkeler ve Taşıma Gücü Hesabı, Evrim Yayınevi, İstanbul, 18-40.
- [106] TÜRK STANDARDI TS EN 206-1 Standart Beton Sınıfları ve Dayanımları
- [107] TS EN 12390-7 Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 7 : Sertleşmiş betonun yoğunluğunun tayini
- [108] Üniversitesi, I.; Fakültesi, M.; Bölümü, İ. M. (n.d.). İğdır Üniversitesi İnşaat Müh. Bölümü Yapı

ÖZGEÇMİŞ

Noorul Amin MAWLAWIZDA

KİŞİSEL BİLGİLER

Doğum Yeri : Afghanistan
Doğum Yılı : 1992 Uyuşu : Afghan
Adres : Fırat Üniversitesi Üniversitesi İnşaat Müh. Bölümü
E-posta : nmawlawizade@gmail.com
Yabancı Diller : İngilizce ve Türkçe

EĞİTİM BİLGİLERİ

Lisans : Fırat Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 2018
Lise : Afghanistan

ARAŞTIRMA DENEYİMİ

Beton Basınç Deney Aleti, Beton Geçirimsizlik Deney Aleti, Ultrasonik Dalga Geçiş Hızı
Test Cihazı, Test Çekici Cihazı
MATLAB, C-C++, Fortran 9,
Auto-Cad, Design Expert,