

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



ATIK LASTİK İLE ÜRETİLMİŞ
ÇEVRE DOSTU BETONLARDA AGREGA
GRANÜLOMETRİSİNİN DAYANIM ÖZELLİKLERİ
ÜZERİNE ETKİSİ

Rahim Gul RAHİMİ

Yüksek Lisans Tezi

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

HAZİRAN 2021

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

**ATIK LASTİK İLE ÜRETİLMİŞ ÇEVRE DOSTU BETONLARDA
AGREGA GRANÜLOMETRİSİNİN DAYANIM ÖZELLİKLERİ
ÜZERİNE ETKİSİ**

Tez Yazarı

Rahim Gul RAHİMİ

Danışman

Doç. Dr. Kürşat Esat ALYAMAÇ

HAZİRAN-2021

ELAZIĞ

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Başlığı: Atık Lastik İle Üretilmiş Çevre Dostu Betonlarda Agrega Granülometrisinin
Dayanım Özellikleri Üzerine Etkisi
Yazarı: Rahim Gul RAHİMİ
İlk Teslim Tarihi: 18.05.2021
Savunma Tarihi: 26.06.2021

TEZ ONAYI

Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına göre hazırlanan
bu tez aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından değerlendirilmiş ve akademik
dinleyicilere açık yapılan savunma sonucunda OYBİRLİĞİ ile kabul edilmiştir.

Danışman:	Doç. Dr. Kürşat Esat ALYAMAÇ Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi	<i>İmza</i> Onayladım
Başkan:	Prof. Dr. Ragıp İNCE Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi	Onayladım
Üye:	Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Esen EREN Turgut Özal Üniversitesi, Darende Meslek Yüksek Okulu	Onayladım

Bu tez, Enstitü Yönetim Kurulunun/...../20..... tarihli toplantısında tescillenmiştir.

İmza

Doç. Dr. Kürşat Esat ALYAMAÇ
Enstitü Müdürü

BEYAN

Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım “Atık Lastik ile Üretilmiş Çevre Dostu Betonlarda Agrega Granülometrisinin Dayanım Özellikleri Üzerine Etkisi” Başlıklı Yüksek Lisans Tezimin içinde yer alan bütün bilgilerin doğru olduğunu, bilgilerin üretilmesi ve sunulmasında bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı, kullandığım bütün kaynakları ise atıf yaparak belirttiğimi aynı zaman da maddi ve manevi desteği olan tüm kurum/kuruluş ve kişileri belirttiğimi, burada sunduğum veri ve tüm bilgileri unvan almak amacıyla daha önce hiçbir şekilde kullanmadığımı beyan ederim.

15/05/2021

Rahim Gul RAHİMİ



ÖN SÖZ

Üzerinde çalışmalar ve deneyler yaptığım bu tezin önemi; atık mermer tozlarını ve bu mermer tozlarına lastik ekleyerek de beton içerisinde kullanarak, çevre dostu betonun elde edip ve kaynakların daha az tüketilerek daha ekonomik olmasını sağlamaktır.

Bu tez çalışması kapsamında bilgi ve tecrübelerinden faydalanmama imkân sağlayan, benden her türlü maddi manevi yardım ve desteğini benden esirgemeyen, kişiliği ve karakteriyle benliğimde kocaman yer edinen, benim için yaptıklarını tüm hayatım boyunca unutamayacağım saygı değer danışman hocam Sayın Doç. Dr. Kürşat Esat ALYAMAÇ'a şükranlarımı sunmayı bir borç bilirim.

Bu çalışmamın deneysel kısmında yardımcı olan arkadaşlarıma, Yük. İnş. Müh. Noorul Amin MAWLAVİZADA'ya, İnş. Müh. Sayet Enayatullah SAYETZADE'ye teşekkürlerimi sunarım.

Hayatımın tamamında yanımda olan ve beni başarıya teşvik eden aynı zaman da benim için en değerli varlıklarım sevgili anneme, babama ve yakın dostlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Rahim Gul RAHİMİ
ELAZIĞ, 2021

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
BEYAN	iii
ÖNSÖZ.....	iv
ÖZET.....	vii
ABSTRACT	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	ix
TABLolar LİSTESİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. ÇEVRE DOSTU BETON TEKNOLOJİSİ	4
2.1. Uçucu Küllerle Üretilmiş Çevre Dostu Betonlar	4
2.2. Yüksek Fırın Cürufu Üretilmiş Çevre Dostu Betonlar.....	5
2.3. Silis Dumanı İle Üretilmiş Çevre Dostu Betonlar.....	7
2.4. Geri Dönüşümlü Agregayla Üretilmiş Çevre Dostu Betonlar.....	9
2.5. Atık Mermer Tozu ile Üretilmiş Çevre Dostu Betonlar.....	11
2.5.1. Mermer ve Kullanım Alanları	11
2.5.2. Mermer Atıklarının Oluşumu	12
2.5.3. Mermer Atıklarının Genel Kullanım Alanları	13
2.5.4. Atık Mermer Tozunun Betonda Kullanımı.....	14
2.6. Atık Lastik Agrega İle Üretilmiş Çevre Dostu Betonlar.....	15
2.6.1. Lastik Üretimi.....	15
2.6.2. Atık Lastiklerin Oluşumu ve Depolanması.....	16
2.6.3. Atık Lastiklerin Oluşturduğu Çevre Problemleri.....	17
2.6.4. Atık Lastiklerin Genel Kullanım Alanları	18
2.6.5. Atık Lastiklerin Betonda Agrega Olarak Kullanılması.....	21
3. DENEYSEL ÇALIŞMA	26
3.1. Materyal.....	26
3.1.1. Çimento	26
3.1.2. Agrega	27
3.1.3. Atık Lastik	28
3.1.4. Atık Mermer Tozu.....	29
3.1.5. Kimyasal Katkı	30
3.1.6. Karışım Suyu.....	31
3.2. Numune Hazırlama	31
3.2.1. Beton Seri Kodlaması.....	31
3.2.2. Beton Karışım Hesabı.....	32

3.3. Deneş Metodu.....	33
3.3.1. Çökme Deneş (Taze Beton)	33
3.3.2. Taze Betonun Birim Hacim Ağırlığı Deneş	35
3.3.3. Sertleşmiş Betonun Birim Hacim Ağırlığı Deneş	35
3.3.4. Geri Sıçrama Değerinin Tayini.....	36
3.3.5. Ultrases Geçiş Hızı Tayini.....	40
3.3.6. Basınç Dayanımı Deneş	43
3.3.7. Yarmada ekme Dayanımı.....	46
3.3.8. Permeabilite Deneş	48
3.3.9. Yoğunluk Deneş.....	55
4. BULGULAR	57
4.1. Atık Lastik Agregası ve Mermer Tozu ile Yapılan Deneşler	57
4.1.1. Slump Testi.....	57
4.1.2. Yaş Birim Hacim Ağırlık, Kuru Birim Hacim Ağırlık, Yoğunluk	60
4.1.3. Lastik, MT, Beton Yaşı ve Basınç Dayanımı Arasındaki İlişki.....	65
4.1.4. Test ekici	73
4.1.5. Ultrases Geçiş Hızı	76
4.1.6. Permeabilite (Kılcallık)	79
4.1.7. Yarma Testi	85
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	87
KAYNAKLAR.....	89
ÖZGEÇMİŞ	

ÖZET

Atık Lastik İle Üretilmiş Çevre Dostu Betonlarda Agrega Granülometrisinin Dayanım Özellikleri Üzerine Etkisi

Rahim Gul RAHİMİ

Yüksek Lisans Tezi

FIRAT ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisli Anabilim Dalı
Haziran 2021, Sayfa: xii+95

Yapılan bu çalışmada mermer ocaklarından, mermer sektörüne getirilen mermer taşları amaçlarına uygun işlem gördükten sonra meydana gelen atık mermerlerin çevredeki olumsuz etkilerini azaltmak için günümüzde yaygın bir şekilde beton karışımında kullanımı hedeflenmiştir. Bununla beraber lastikte aynı durum söz konusudur. Lastiğin de çevreye olan olumsuz etkisini azaltabilmek için atık halde olan iki malzemeyi de betonda kullanmak amaçlanmıştır. Mermer tozu ve lastik olan atık malzemelerin beton karışımında kullanımının yaygınlaşması, ekonomik yönden de oldukça katkı sağlamıştır. Atık mermer tozu ve lastiğin betonda rahatlıkla kullanılması betonun bazı özelliklerine bağlıdır, bu özellikler ise betonun taze ve sertleşmiş yapısı olarak ifade edilir.

Yapılan çalışmanın amacı, beton karışımında atık mermer tozu ile lastik kullanarak, çevre dostu bir beton türü üreterek hem çevreye olan olumsuz etkilerini azaltmak hem de daha ekonomik olması amaçlanmıştır. Üretilen betonun, tahribatsız ve tahribatlı test metotları ile birçok deneyler yapılarak betonun 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 agregaya yerine yer değiştirerek kullanılmıştır ve betonların karışım hesaplarında kullanılan atık lastik miktarı, hacimce toplam karışımın %0,%1,%3 şeklinde aynı zamanda da iri ve ince agregaya yerine yer değiştirerek kullanılmıştır.

Yapılan bu çalışmalarda üretilen betonların çimento dozajı iki farklı (350 kg/m^3 ve 425 kg/m^3) şeklinde ve agregaya granülometrisi ise üç farklı (%65 İnce-%35 İri), (%55 İnce-%45 İri), (%45 İnce-%55 İri) şeklinde kullanılmıştır. Yapılan bu çalışmaların sonuçlarına göre, işlenebilirlik ve dayanım üzerine en etkili parametrelerin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışmalar değerlendirirken mermer tozu oranı ile lastik oranı ve agregaya granülometri etkisine göre yapılmıştır.

Sonuç olarak, atık mermer tozunun beton karışımında kullanarak çevre dostu betonun üretilmesinin mümkün olduğu ve lastikle birlikte kullanıldığında dayanım belirli oranlarda azalsa da yine de bu iki atık malzeme ile beton üretilebileceği tespit edilmiştir. Taze ve sertleşmiş beton özellikleri kontrol altında tutularak üretilecek bu tür betonlar hem çevreci hem de ekonomik bir beton niteliği taşımaktadır. Atık lastik ve mermer tozu kullanılarak üretilecek çevre dostu betonların çevreye ve ekonomiye çok önemli katkılar sağlayacağı öngörülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Çevre Dostu Beton, Mermer Tozu, Atık Lastik, Atık Yönetimi

ABSTRACT

Effect of Aggregate Gradation on Strength Properties of Eco-Efficient Concretes Produced with Waste Tire

Rahim Gul RAHİMİ

Master's Thesis

FIRAT UNIVERSITY
Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Engineering
Faculty of Engineering
June 2021, Pages: xii+95

In this study, it is aimed to use the waste marble, which is produced after the marble stones brought to the marble sector from the marble quarries, are processed in accordance with their purposes, in order to reduce the negative effects of the waste marble in the concrete mixture. However, the same applies to the tire. In order to reduce the negative impact of the tire on the environment, it is aimed to use both waste materials in concrete. The widespread use of marble dust and rubber waste materials in the concrete mixture has also made a great contribution to the economy. The convenient use of waste marble powder and rubber in concrete depends on some properties of concrete, these properties are expressed as the fresh and hardened structure of the concrete.

The aim of the study is to produce an environmentally friendly type of concrete by using waste marble powder and rubber in the concrete mixture to reduce its negative effects on the environment and to be more economical. It is to determine the strength and durability properties of the concrete and its effects on fresh and hardened concrete by conducting many experiments with non-destructive and destructive test methods.

In the study, the amount of waste marble powder used in the mixture calculation of environmentally friendly concrete produced with waste marble powder was used as 0%, 2%, 4% of the total mixture by volume, and at the same time, coarse and fine aggregate was used by replacing the waste used in the mixture calculations of the concrete. The amount of rubber was used as 0%, 1%, 3% of the total mixture by volume, and at the same time, the coarse and fine aggregates were replaced in place.

In these studies, the cement dosage of the concrete produced is two different (350 kg/m^3 and 425 kg/m^3) and the aggregate granulometry is three different (65% Fine-35% Coarse), (55% Fine-45% Coarse), (% 45 Fine-55% Coarse). According to the results of these studies, it was aimed to determine the most effective parameters on workability and strength. While evaluating the studies, it was made according to the effect of marble dust ratio and tire ratio and aggregate granulometry.

As a result, it is possible to produce environmentally friendly concrete by using waste marble powder in the concrete mixture, but it is possible to use it with rubber because some measures such as strength remain at the limit, thus reducing environmental pollution, and the clean environment benefits people's health and nature, On the other hand, it can be said that less consumption of resources will contribute to the economy.

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

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1.	Mermer atıklarının oluşumu13
Şekil 2.2.	Atık Lastiklerin Depolanması17
Şekil 2.3.	Atık lastiklerin oluşturduğu en büyük tehlike, kontrolsüz yangınlar ve atık lastiklerin kirlettiği su18
Şekil 2.4.	Parçalanmış atık lastiklerinden toprak set oluşturma20
Şekil 2.5.	Atık lastiklerinden oluşan toprak set kesiti21
Şekil 2.6.	Lastiklerin istinat duvar dolgularında kullanımı21
Şekil 3.1.	Kullanılan Agregası27
Şekil 3.2.	En büyük tane büyüklüğü 16,0 mm olan agregası tane dağılımı eğrisine ait sınırlar (A, B ve C) ve GI eğrisi27
Şekil 3.3.	En büyük tane büyüklüğü 16,0 mm olan agregası tane dağılımı eğrisine ait sınırlar (A, B ve C) ve GII eğrisi28
Şekil 3.4.	En büyük tane büyüklüğü 16,0 mm olan agregası tane dağılımı eğrisine ait sınırlar (A, B ve C) ve III eğrisi28
Şekil 3.5.	Kullanılan Atık Lastik Agregası29
Şekil 3.6.	a) Öğütülmemiş mermer atığı b) Atık mermer tozu30
Şekil 3.7.	Geri sıçramalı çekiç okumasından beton basınç dayanımına geçiş grafiği37
Şekil 3.8.	Betonun geri sıçrama değerinin tayini deneyi38
Şekil 3.9.	Ultras ses geçiş hazı tayini deneyi40
Şekil 3.10.	Basınç dayanımı deneyi, numune kırılma şekilleri43
Şekil 3.11.	Yarmada çekme dayanımı deney düzeneği47
Şekil 3.12.	Kılcılık deney düzeneği48
Şekil 3.13.	Su ile değiştirme yöntemi49
Şekil 4.1.	Atık lastik agregası ve mermer tozu oranı ile betonun çökme değeri arasında ki ilişki59
Şekil 4.2.	Atık lastik agregası, mermer tozu oranı ve çimento dozajı ile betonun çökme değeri arasındaki ilişki60
Şekil 4.3.	MT,L karışım oranı ve yaş birim hacim ağırlığı, kuru birim hacim ağırlığı, yoğunluk değerlerine ve Ç350 ile agregası granülometrelerine göre grafik çizimi62
Şekil 4.4.	MT,L karışım oranı ve yaş birim hacim ağırlığı, kuru birim hacim ağırlığı, yoğunluk değerlerine ve Ç425 ile agregası granülometrelerine göre grafik çizimi63
Şekil 4.5.	MT,L karışım oranı yoğunluk değerlerine ve Ç350 ile agregası granülometrelerine göre grafik çizimi64
Şekil 4.6.	MT,L karışım oranı ve yaş birim hacim ağırlığı, kuru birim hacim ağırlığı, yoğunluk değerlerine ve Ç425 ile agregası granülometrelerine göre grafik çizimi64

Şekil 4.7.	MT,L karışım oranı ve yaş birim hacim ağırlığı, kuru birim hacim ağırlığı, yoğunluk değerlerine ve çimento dozajına göre grafik çizimi	65
Şekil 4.8.	Lastik, MT, Beton Yaşı ve 3 Günlük Basınç Dayanımı Arasındaki İlişisine Göre Grafik Çizimi	66
Şekil 4.9.	Lastik, MT, Beton Yaşı ve 7 Günlük Basınç Dayanımı Arasındaki İlişisine Göre Grafik Çizimi	67
Şekil 4.10.	Lastik, MT, Beton Yaşı ve 28 Günlük Basınç Dayanımı Arasındaki İlişisine Göre Grafik Çizimi	68
Şekil 4.11.	Lastik, MT, Beton Yaşı ve 28 Günlük Basınç Dayanımı Arasındaki İlişisine Göre Grafik Çizimi	69
Şekil 4.12.	Çimento Dozajı ve Agreg a Granülometrilere Göre Basınç Dayanımı Değişimleri Grafik Çizimi	70
Şekil 4.13.	Agreg a granülometrilere göre basınç dayanımı değişimlerine göre grafik çizimi	71
Şekil 4.14.	Günlük çimento dozajlarına göre basınç dayanımı değişimlerine göre grafik çizimi	72
Şekil 4.15.	100 mm' lük küp numune lastik, MT, beton yaşı ve basınç dayanımı arasındaki ilişkisine göre grafik çizimi	73
Şekil 4.16.	MT ile lastik karışım oranı ve 3 günlük test çekici R değerlerine göre grafik çizimi	74
Şekil 4.17.	MT ile lastik karışım oranı ve 7 günlük test çekici R değerlerine göre grafik çizimi	75
Şekil 4.18.	MT ile lastik karışım oranı ve 28 günlük test çekici R değerlerine göre grafik çizimi	76
Şekil 4.19.	MT ile lastik karışım oranına ve 3 günlük ultrases geçiş dalga hızı V değerlerine göre grafik çizimi	77
Şekil 4.20.	MT ile lastik karışım oranına ve 7 günlük ultrases geçiş dalga hızı V değerlerine göre grafik çizimi	78
Şekil 4.21	MT ile lastik karışım oranına ve 28 günlük ultrases geçiş dalga hızı V değerlerine göre grafik çizimi	79
Şekil 4.22.	Yapılan çalışmanın karışım-G1' e (%65 ince-%35 iri) ait 28 günlük permeabilite deneylerinin grafik çizimi çimento dozajı 350 (kg/m3)	80
Şekil 4.23.	Yapılan çalışmanın karışım-G2' ye (%55 ince-%45 iri) ait 28 günlük permeabilite deneylerinin grafik çizimi çimento dozajı 350 (kg/m3)	81
Şekil 4.24.	Yapılan çalışmanın karışım-G3' e (%45 ince-%55 iri) ait 28 günlük permeabilite deneylerin grafik çizimi çimento dozajı 350 (kg/m3)	82
Şekil 4.25.	Yapılan çalışmanın karışım-G1' e (%65 ince-%35 iri) ait 28 günlük permeabilite deneylerinin grafik çizimi çimento dozajı 425 (kg/m3)	83
Şekil 4.26.	Yapılan çalışmanın karışım-G2' ye (%55 ince-%45 iri) ait 28 günlük permeabilite deneylerinin grafik çizimi çimento dozajı 425 (kg/m3)	84
Şekil 4.27.	Yapılan çalışmanın karışım-G3' e (%45 ince-%55 iri) ait 28 günlük permeabilite deneylerinin grafik çizimi çimento dozajı 425 (kg/m3)	85
Şekil 4.28.	MT ile lastik karışım oranı ve 28 günlük yarma dayanımı değerlerine göre grafik çizimi	86

TABLolar LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 3.1. CEM I 42.5 R çimentonun kimyasal özellikleri.....	26
Tablo 3.2. CEM I 42.5 R çimentonun fiziksel özellikleri	26
Tablo 3.3. CEM I 42.5 R çimentonun fiziksel özellikleri	26
Tablo 3.4. Atık mermer tozunun kimyasal ve fiziksel özellikleri	30
Tablo 3.5. Süper akışkanlaştırıcının teknik özellikleri.....	30
Tablo 3.6. 1 m ³ beton için hesaplanan karışım oranları ve miktarları.....	32
Tablo 3.7. 1000 dm ³ beton için hesaplanan karışım oranları ve miktarları	33
Tablo 3.8. Beton çökme sınıfları (TS EN 206-1).....	34
Tablo 3.9. Yapılan deneylerin çökme değerleri	34
Tablo 3.10. Yaş birim hacim ağırlık değerleri	35
Tablo 3.11. Kuru birim hacim ağırlık değerleri	36
Tablo 3.12. (3) Günlük geri sıçrama deneylerinin değerleri	38
Tablo 3.13. (7) Günlük geri sıçrama deneylerinin değerleri	39
Tablo 3.14. (28) Günlük geri sıçrama deneylerinin değerleri	39
Tablo 3.15. Ultrases geçiş hızı değerleri ile betonun kalitesinin tahmin edilmesi	41
Tablo 3.16. Üretilen betonun 3 günlük ultrases geçiş hız değerleri	41
Tablo 3.17. Üretilen betonun 7 günlük ultrases geçiş hız değerleri	42
Tablo 3.18. Üretilen betonun 28 günlük ultrases geçiş hız değerleri	42
Tablo 3.19. Üretilen betonun 3 günlük basınç değerleri numune boyutu (150×150×150) mm	44
Tablo 3.20. Üretilen betonun 7 günlük basınç değerleri numune boyutu (150×150×150) mm	45
Tablo 3.21. Üretilen betonun 28 günlük basınç değerleri numune boyutu (150×150×150) mm	45
Tablo 3.22. Üretilen betonun 28 günlük basınç değerleri numune boyutu (100×100×100) mm	46
Tablo 3.23. Üretilen betonun 28 günlük yarma değerleri numune boyutu (150×150×150) mm	47
Tablo 3.24. Çimento dozajı 350 kg, GI olan karışımın kılcallık değerleri (kg).....	50
Tablo 3.25. Çimento dozajı 350 kg, GII olan karışımın kılcallık değerleri (kg).....	51
Tablo 3.26. Çimento dozajı 350 kg, GIII olan karışımın kılcallık değerleri (kg).....	52
Tablo 3.28. Çimento dozajı 425 kg, GII olan karışımın kılcallık değerleri (kg).....	54
Tablo 3.29. Çimento dozajı 425 kg, GIII olan karışımın kılcallık değerleri (kg).....	55
Tablo 3.30. Sertleşmiş betonun yoğunluk değerleri.....	56

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

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

Kısaltmalar

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

1. GİRİŞ

Dünyada en çok kullanılan yapı malzemeleri çimento esaslı malzemeleridir. Özellikle beton; Çimento, su, agrega ve ihtiyaç olduğunda kimyasal ve mineral katkıların belirli şartlar ve oranlarda bir araya gelmesiyle oluşturulan, taze iken her türlü şekil verilebilen plastik formda olup, zamanla bağlayıcı ve su arasındaki kimyasal reaksiyonun meydana gelmesiyle sertleşerek dayanımı kazanan geleneksel bir yapı malzemesidir [1].

Konutların, işyerlerin, bütün kamu binaların, su tesislerin, park ve garajların büyük bir kısmının yapımında ve daha birçok yerde betondan istifade edilmektedir. Bu malzemenin bu kadar çok tercih edilmesinin sebepleri; Yüksek basınç mukavemetine sahip olması, çekme dayanımının çok düşük olması için tasarım ve uygulamalarda çelik donatı ile dengelenebilmesi, çelik donatısıyla çok iyi aderans yapması, yangına dayanıklı olması, diğer yapı malzemelerine göre dış ortam etkilerine daha dirençli olması, kolay şekil verilebilir olması, istenilen her yerde üretilebilir olması ve ekonomik olması olarak sayılabilir [2, 3].

Geleneksel betonların bazı koşullarda tüketicinin istediği özellikleri sağlayamaması için özel betonların kullanımı zorunlu hale gelmiş ve daha sonra genişlenmiştir. Özel alanlar ve amaçlar için birçok özel beton türleri bulunmaktadır. Ağır betonlar, hafif betonlar, püskürtme betonlar, kendiliğinden yerleşen betonlar, ultra yüksek dayanımlı betonlar, renkli betonlar, polimer betonlar ve çevre dostu betonlar özel beton türlerinden birkaç tanesidir. Bu tip betonların bazıları çok uzun zamanlardan beri inşaat sektöründe kullanılmakla birlikte, bazıları ise beton endüstrisine yeni kazandırılmaktadır. Bu tez çalışmasında özel beton türlerinden biri olan “Çevre Dostu Beton” ele alınmıştır. Çevre dostu betonlar, normal beton içerisinde çevreye zarar verebilen her türlü endüstriyel atık (silis dumanı, uçucu kül, otomobil lastikleri, her türlü plastik, mermer tozu vb.) malzemeleri, belirli şartlar ve oranlarda kullanılan özel betonlardır.

Betondan beklenen ihtiyaçlar, gelişmekte olan yapı sektörü ve teknoloji ile beraber her geçen gün artmaktadır. Bu ihtiyaçların giderilebilmesi için betonda mineral ve kimyasal katkı kullanılmaktadır. Gelişen teknoloji ile birlikte, endüstride hammaddelerin elde edilmesinde veya üretiminde ve/veya bu ürünlerin tüketim sonrası, çevre kirliliği açısından büyük riskleri oluşturan, meydana gelen atıklardır. Birçok sayıda, atık malzemelerin geri dönüşüm ile ilgili çalışmalar yapılmaktadır. Bu atık malzemelerin inşaat sektöründe yapı malzemesi olarak kullanılması, atıkların güvenli bir şekilde bertaraf edilmesinin yanı sıra hammadde elde etmek üzere çevreye verilen zararların düşmesini de sağlamaktadır [4-10].

İnsanların yaşam tarzı ve sürekli olan nüfus artışı, tüketici sonrası atık plastik malzemelerin ve atık otomobil lastiklerin miktarında önemli bir artışa neden olmaktadır. Dünya genelinde yıllık plastik malzeme tüketimi, yaklaşık 5 milyon tondan 20 milyona ve 1950’lerde bu miktarlar 100 milyon tona yükseldi ki bu da son zamanlarda atık plastik ve atık lastik oluşum miktarlarında büyük

bir artışı neden oldu. Bu atıkların önemli bir kısmının geri dönüşümü yapılır. Ancak, her türlü sıvılar için kullanılan şişeler, taşıma poşetleri, plastik boruları ve kauçuk gibi malzemelerin tüketiminden meydana gelen atıkların çoğu geri dönüştürülebilir olmasına rağmen, çöplerden ayrılması zor olduğu için geri dönüşümü neredeyse yapılmamaktadır. Bu durumların çoğunda meydana gelen atıklar ya çevremizi kirleten çöp olmakta veya zemin dolgusuyla bertaraf edilmektedir [11].

Lastik ve plastik atıklarının küresel çevre kirliliği konusuna baktığımızda, yapılan araştırmalar bu atıkların verimli ve çevre dostu bir yapı malzemesi olarak kullanmaya odaklanmıştır. Beton, sudan sonra insanların en çok aradığı malzeme olduğu için, araştırmacılar tarafından betonun ekonomik ve çevre dostu bir beton olabilmesi için lastik ve plastik atıkların beton içerisinde katkı olarak kullanılması planlandı. Bu atıkların betondaki kullanımı, çevreye verdikleri zararları azaltmasının yanı sıra, betonun, çekme mukavemeti, kimyasal etkilere karşı direnci ve sürtünme gibi özellikleri de iyileştirilebilir. [11].

Son zamanlarda, mermer toz atıkların çimento esaslı yapı malzemelerinde kullanışı gün geçtikçe gelişmektedir. Mermer madenleri yeryüzüne yakın olan madenlerindedir. Çeşitli yöntemlerle, 15~20 tonluk bloklar şeklinde ocaklarda kesilir ve daha sonra işlenmek için fabrikalara taşınırlar. Fabrikalarda mermer istenilen boyut ve kalınlıklarda kesilme işlemi sırasında, kesicinin ısınmaması ve oluşan tozun havaya karışmaması için su kullanılmaktadır. Bu yapılan işlemlerin sonucunda atık mermer çamuru açığa çıkmaktadır. Bu açığa çıkan atık madde, ilk hali ile veya suyu alındıktan sonra bilinçsiz bir şekilde çevreye atılmaktadır. Çevreye atılan bu atık maddenin sebep olacağı zararlar çevremizi olumsuz yönde etkilemektedir [12, 13].

Atık lastik agregalı betonlar, normal betonlara göre daha düşük birim hacim ağırlık, daha fazla tokluk ve enerji yutma kapasitesine sahiptirler. Ama lastik agregalı betonların basınç ve çekme dayanımları normal betonlara göre daha düşük olmaktadır. Lastik katkılı betonların, basınç ve çekme dayanımları artırmak için çeşitli yöntemler kullanılarak çalışılmaktadır [14].

Atık mermer tozu, mermer ocaklarında ve fabrikalarında yaklaşık olarak toplam üretimin %40 – %60'ı atık olarak çıkan kısımdır. Türkiye'de üretimi gerçekleştiren mermer miktarı yıllık 7 milyon tondan fazla olmaktadır. Açığa çıkan bu atıkların kirlilik yükü fazla olmamasına rağmen, hacimleri büyük olan bu atıkların stoklanmasında çeşitli problemler yaşanmaktadır. Atık mermer tozunun inşaatlarda kullanımı ile ilgili birçok araştırma yapılmıştır [15].

Bu tez çalışmasının amacı; atık lastik kullanarak elde edilen çevre dostu betonlarda agrega granülometrisinin dayanım özellikleri üzerine etkisini belirlemektir. Çalışmada atık lastik agregalı çevre dostu betonların, düşük dayanım ve dayanıklılık özelliklerinin geliştirilmesi için mineral katkı olarak atık mermer tozunun kullanılması hedeflenmiştir. Bu amaçla, farklı karışımlara sahip çevre dostu betonlar üretilecek ve üretilen beton numuneler üzerinde testler yapılmıştır. Bu testler sonucunda elde edilen bilgiler neticesinde literatüre önerilecek atık lastiklerin ve atık mermer

tozunun betondaki kullanım oranlarının bu çevre dostu betonun kullanımını artıracığı düşünülmektedir. Bu tezin diğeri bir amacı ise atık lastiklerin ve mermer tozunun tekrar kullanımını sağlayarak çevre sağlığına katkıda bulunmaktır.



2. ÇEVRE DOSTU BETON TEKNOLOJİSİ

Bu tez çalışmasında özel beton türlerinden biri olan, içerisine atık lastik ve atık mermer tozu ilave edilen Çevre dostu beton ele alınmıştır. Çevre dostu betonlar, normal beton içerisinde çevreye zarar verebilen her türlü endüstriyel atık (silis dumanı, uçucu kül, otomobil lastikleri, her türlü plastik, mermer tozu vb.) malzemeleri, belirli şartlar ve oranlarda kullanılan özel betonlardır.

Son zamanlar, atık malzemelerin geri dönüşümü ve tekrar kullanımıyla ilgili yoğun araştırmalar yapılmaktadır. Araştırmalarının amacı bu atıklardan yeni ürünler elde etmek veya bunlardan katkı maddesi olarak faydalanmaktır. İnşaat sektöründe, büyük çevre problemlerine yol açan, atık otomobil lastikleri, silis dumanı, granüle yüksek fırın cürufu, uçucu küller, atık plastikler ve mermer tozu gibi atıkların kullanılmasıyla çevreye zarar vermesi önlenmektedir. Bu endüstriyel atıkların yeniden kullanımı, doğal kaynakların kullanımında tasarruf sağlayarak doğaya verilen zararlar azaltmakta, ekonomik bir üretim sağlamakta ve bu atıkların depolanma sorunları azaltabilmektedir [16].

Çalışmanın bu kısımda, uçucu küller, granüle yüksek fırın cürufu, silis dumanı, geri kazanımlı agregaları, atık otomobil lastikleri ve atık mermer tozu ile üretilen çevre dostu betonlar araştırılmıştır.

2.1. Uçucu Küllerle Üretilmiş Çevre Dostu Betonlar

Uçucu küller, termik santrallerde toz kömürün yakılmasıyla oluşan, baca gazıyla sürüklenen çok ince kül partikülleridir. Bu çok ince kül partikülleri siklonlarda ve elektro filtrelerde, elektro statik yöntemler yardımıyla toplanmakta ve baca gazlarıyla dış çevreye kaçmasını önlenmektedir. Boyutları 1-200 µm arasında değişen uçucu kül parçacıkları genelde küresel yapıya sahiptirler. Termik santrallerdeki kül toplama ve ekipmanlarına ve yönteme göre kül tane boyutları değişebilmektedir. Uçucu küllerin renkleri içindeki karbon miktarına değişir. Karbon miktarı fazla olan küller daha koyu olmakla birlikte normalde açık bejden kahve rengine, griden siyah kadar farklı renklerde olabilmektedir. Uçucu küllerin sınıflandırılmasına bakıldığında, TS ve son zamanlarda yapılan sınıflandırmalara göre uçucu külün içerdiği CaO miktarlarına bağlıdır. Buna göre, içerdiği CaO miktarı %10'dan düşük olan uçucu küller düşük kalsiyumlu ya da düşük kireçli, CaO miktarı %10'dan yüksek olan uçucu küller ise yüksek kalsiyumlu ya da yüksek kireçli uçucu küller olarak isimlendirilmektedirler. ASTM 618'e göre uçucu küllerin sınıflandırma ise şu şekildedir, a) $SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3 > \%70$ şartını sağlayan, bitümlü kömürlerden elde edilen F sınıfı, b) $SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3 > \%50$ şartını sağlayan linyitler ve yarı bitümlü kömürlerden elde edilen C sınıfı olarak iki sınıfa ayrılmıştır [17].

Türkiye’de toplam elektrik enerjisinin %50’sinden fazla termik santrallerde üretilmektedir. Uçucu küllerin ciddi ekolojik ve ekonomik sorunlarına sebep olduğu için yeniden kullanımının çok faydaları vardır. Beton içinde kullanılması, bir taraftan uçucu küllerin uzaklaştırma masrafları ve çevreye verdiği zararları azaltılırken diğer taraftan üretilen beton ekonomik olacaktır [18].

Betonda uçucu küllerin kullanımı ile sağlayan avantajlar sadece enerji tasarrufu ve çevre korunma ile bitmemektedir. Uçucu küller betonda uygun oranlarda kullanılır ve betonun kullanım yeri dikkate alınır, üretilen betonun üretim masrafları daha düşük ve dayanıklılığı daha fazla olur. Kaynaklarda, özellikle kütle betonlarda uçucu külün ağırlıkça %20-25 oranlarda çimentoyla yer değiştirilebileceği görülmüştür. Betonda ince agrega yerine kullanım oranının %25 olması uygun bir oran olarak belirtilmiştir [17].

Uçucu küller üretilmiş betonların basınç mukavemeti beton karışımdaki uçucu külün miktarındaki artışa bağlı olarak düşmektedir. Fakat uçucu külün kullanım oranı %10-20 olduğunda basınç dayanım değerlerin örnek beton basınç değerine yakın olduğu görülmüştür. Araştırmalara göre uçucu küllerin çimento yerine %20 oranında kullanımı, betonun basınç mukavemet bakımından pozitif sonuçlar verdiği ortaya çıkmıştır [19].

Uçucu kül katkılı betonlar, uçucu külün %15 civarında çimentoyla yer değiştirdiğinde geleneksel betonlarla çok yakın dayanım özelliklerine sahiptirler. Uçucu küller, bu oranın düşük olduğunda betonun basınç dayanımındaki artışa, %20 den yüksek olduğunda betonun basınç dayanımındaki düşüşe neden olmaktadır [20].

Dünya genelinde meydana gelen uçucu küllerin %25’den daha az bir kısım değerlendirilebilmektedir. Bununla beraber, Hollanda, Belçika ve Almanyada’da açığa çıkan toplam uçucu küllerin %95’den fazlası, İngiltere’de ise %50’si değerlendirilmektedir [21, 22].

ABD ve Çin büyük miktarlarda uçucu külleri üretilen ülkeleridir ama bu ülkelerde uçucu küllerin değerlendirilme oranları ise sırasıyla %32 ve %40 olarak görülmektedir [21]. Türkiye’de bu oran 1990 yılının verilerine göre %1’den daha az olmaktadır [23].

Yapılan araştırmalara göre Türkiye ve dünya genelinde uçucu küllerin İnşaat sektöründe kullanım alanları; çimento üretiminde hammadde ve katkı olarak, beton üretiminde ince agrega, hafif agrega ve katkı olarak, tuğla yapımında katkı malzemesi olarak, kerpiç üretiminde bağlayıcı olarak, baraj, nükleer santral, otoyol, geoteknik uygulamalarda ve bunun yanında panel, blok, duvar, beton boru, gaz beton, seramik, plastik ve harçlarda yapı malzemesi olarak kullanılmaktadır.

2.2. Yüksek Fırın Cürufu Üretilmiş Çevre Dostu Betonlar

Cüruf, metalden daha hafif oksitleri ve silikatlar birleşimi olan, metallerin veya metal içeren malzemelerin eritildiği zaman meydana gelen ve yoğunluğu daha düşük olması nedeniyle yüzeyde kalan bir yan üründür [24].

Granüle yüksek fırın cürufu (GYFC), demir-çelik üretim sırasında metal tesislerin yüksek fırınlarda açığa çıkan bir yan üründür. Yüksek fırın cürufu, 1450°C-1550°C sıcaklıklarda, kok, kireç ve demir filizi gibi maddelerin indirgenmesi aşamasında oluşmaktadır. Yüksek fırın cüruf miktarı, cürufun meydana geldiği malzemeye bağlıdır. Yaklaşık olarak ,1000 kg metalden 200-600 kg cüruf meydana gelmektedir. Cüruf ağırlıkça %0.7-1.5 S, %0.5-0.8 FeO, %0.3-1.0 MnO, %35-42 CaO, %8-9 MgO, %8-15 Al₂O₃ ve %35-40 SiO₂ oksitler ve silikatlar içermektedir [25].

Bir diğer çalışmaya göre yüksek fırın cürufu, ham demirin elde edilmesinde, yüksek fırınlarda yoğunluğu düşük olmasından dolayı ham demir üzerine biriken bir atık malzemesi olarak elde edilir. Yüksek fırın cürufun, betonda kullanılması açık ve betona çeşitli faydalar sağlamaktadır. [26].

Öğütülmüş yüksek fırın cürufunun soğutmasından sonra elde edilen cüruflara granüle yüksek fırın cürufu adı verilmektedir [27]. Granüle yüksek fırın cürufun %95'den fazlası alüminyum, kalsiyum, magnezyum, oksijen ve silikadan oluşmaktadır [28].

Çok büyük miktarlarda oluşan cüruflar, geri dönüşümü yapılmadığı ve uygun şekillerde kullanılmadığı durumlarda büyük miktarlarda atık kaynak olmaktadır. Cürufların depolanması ve bertaraf edilmesi masraflar sanayileşmenin artışı ile beraber artmaktadır. Tıklarlar dolu sahalar, su, toprak ve hava kirliliğine sebep olmaktadır. Dolayısıyla bitkilerin büyümesini ve insan sağlığını etkilemektedirler [25].

Türkiye'de yan ürün olarak oluşan katı, sıvı ve gaz şeklinde birçok atık malzeme meydana gelmektedir. Bunların içerisinde kullanım açısından uygun ve oluşumu fazla olan atık yüksek fırın cürufudur [29].

Çevre kirliliği ve taşıma problemleri önlemek için, yüksek fırın cürufun çimento üretiminde teknik kullanılabilirliği ve beton üretiminde ise kaba ve ince agrega yerine kullanılması değerlendirilmeli. Yüksek fırın cürufun inşaat sektöründe kullanımı ile ilgili literatürde bazı çalışmalar bulunmaktadır. Durham ve Maier'in yaptığı çalışmada ezilmiş cam atıklarının, yüksek fırın cürufun ve geri kazanımlı agregasının hem taze hem sertleşmiş beton üzerindeki olumlu etkileri görülmüştür. Yapılan çalışmada cam atığı ince ve kaba agrega yerine, yüksek fırın cürufu ise çimento yerine kullanılmıştır. Çimento yerine %50 yüksek fırın cürufu kullanıldığında olumlu sonuçlar ortaya çıkmıştır [30].

Granüle yüksek fırın cürufu ve çelik cürufu, ayrı ayrı veya birlikte kullanıldığında harç numunelerin priz süresini geciktirmiştir. Granüle yüksek fırın cürufu ve çelik cürufu geç reaksiyona girmektedir. Granüle yüksek fırın cüruf, çimentolara harç yaşı arttıkça daha çok dayanım kazandırmaktadır. Harç numunelerine benzer olarak beton basınç dayanımlarında aynı sonuçlar görülmüştür [31].

Amacı, kumlanmış yüksek fırın cürufun ince agreganın bir kısmının yerine kullanılan kendiliğinden yerleşen betonların rötire (büzülme) durumunu incelemek olan başka bir çalışmada,

sabit 0,55 su/çimento oranı ve cüruf içeriği farklı olan yedi tip numune üretilmiştir. Çıkan sonuçlar, ince agrega yerine kumlanmış yüksek fırın cürufu kullanıldığı karışımlarda, gözenek yapısı daha küçük ancak büyük gözenek hacmine sahip karışımlar elde edilmiştir. Uzun vadede yüksek fırın cürufu örnek karışımlarına göre betonun dayanımı artırmakta ancak erken yaş durumunda örnek betonunki gibi benzer sonuçlara ulaşmıştır. Cüruf oranının yükselişine bağla olarak betonlarda kuruma büzülmesi ve dolayısıyla toplam büzülme görülmüştür. İnce agreganın %10 ve %60 oranlarda kumlanmış yüksek fırın cürufu ile yer değiştirdiği betonlarda örnek betonlara göre sırasıyla %4 ve %44 oranda büzülme artışı gözlemlenmiştir [32].

Bir başka çalışmada da ince agrega yerine hem granüle yüksek fırın cürufu ve taban külünün ikisinin beraber hem de ayrı ayrı kullanılmasının betonun dayanıklılığını nasıl etkilediğini araştırılmıştır. İnce agrega yerine %10, %20, %30, %40 ve %50 oranlarda taban külü, granüle yüksek fırın cürufu ve taban külü ile birlikte granüle yüksek fırın cürufu kullanılarak beton numuneleri üretilmiştir. Çıkan sonuçlara göre taban külün ve granüle yüksek fırın cürufun ince agrega yerine kullanılmasında yüksek dayanımlara sahip betonların elde edilebileceği ve betonun dayanıklılık özelliklerinden bazılarını iyileştirdiği söylenebilmekte [33].

Granüle yüksek fırın cürufu, betonun hidrasyon ısısını azaltması için hidrasyon ısısının düşük olması gereken kütle beton yapımında yüksek performans göstermektedir. Bununla birlikte betonun sülfata karşı dayanıklılığı, terlememesi ve su geçirimsizliği de artırmaktadır [34].

Granüle yüksek fırın cürufun tarihçesine bakıldığında 1774 yıldan biri cürufların bağlayıcılık özelliği bilindiği görülmektedir. 1889'da yüksek fırın cürufu, ilk kez Paris'te bir metro inşaat yapımında kullanılmıştır. Granüle yüksek fırın cürufu çimento üretiminde ilk kez Almanya'da 1892'de, Amerika'da ise 1896'da kullanılmıştır. YFC'un betonda katkı maddesi olarak kullanımı ise 1950'den sonra başlamıştır [35].

2.3. Silis Dumanı İle Üretilmiş Çevre Dostu Betonlar

Gri renkli toz olan silis dumanı, ferrosilisyum ve silisyum üretiminden bir yan ürün olarak elde edilmektedir. Silis dumanının bileşimi, sıcaklığı düşük olan elektrik ark fırınlarının üst bölümlerinde SiO gazının havayla temas ederek okside olup amorf silis olarak yoğunlaşmasından sonra oluşmaktadır. Elde edilen silis dumanı en az %89 SiO içermektedir. Silis dumanının tanelerinin çoğu küresel olup çapları 0.1 µ civarında ve çimentonun tane çaplarından yaklaşık 100 kat daha küçüklerdir. İlk kez 1952 yılında Norveç'te silis dumanının değerlendirilmesi ile ilgili araştırmalar yapılmıştır. Silis dumanı, uçucu kül ve cüruflar gibi ürünlerin çevreye zarar vermemesi için betonda kullanılması ile ilgili 1983 yılında uluslararası konferanslar düzenlenmiş ve daha sonra 1992 yılında İstanbul'da bir konferans verilmiştir [36].

Puzolonik aktivitesi yüksek olan silis dumanı son zamanlar betonda yaygın olarak kullanılan bir mineral katkı olmuştur. Yüksek performanslı yani dayanıklılığı önemli olan betonlarda silis

dumanlı çimentonun kullanılması yaygınlaşmıştır. Silis dumanının betonda kullanımı hem beton özelliklerini iyileştirir hem de ekolojik ve ekonomik faydaları sağlamaktadır [39].

Atık maddelerin farklı alanlarda değerlendirilmesi, ülkenin sahip olduğu doğal kaynaklarının tüketmemesine ve ekonomisine yardımcı olmaktadır. Çelik üretimi sırasında ortaya çıkan yüksek fırın cürufur, elektrik üretimi sırasında ortaya çıkan uçucu küller, silikoferrokrom üretimi esnasında filtreli fırınlarda biriken silis dumanı ve bumlara benzer atıkların çimento ve beton sektöründe kullanımı yaygınlaşmaktadır [36-38].

Yapılan bazı çalışmalarda silis dumanı katkılı betonların 3 aydan sonraki basınç dayanım değerlerinin düştüğü görülmekle birlikte bu durumun tersini söyleyen çalışmalar da bulunmaktadır [40, 41]. Dayanımı yüksek olan betonlarda, betonun işlenebilirliği sağlamak için süper akışkanlaştırıcı kimyasal katkısıyla beraber çimento ağırlığının %5-%20 oranda silis dumanı kullanılması önerilmektedir [42, 43].

Şimşek ve arkadaşları yaptığı bir çalışmada, silis dumanı ve kimyasal katkı olarak süper akışkanlaştırıcı kullanılan tüm harç numunelerde, referans harç numunelerine göre daha yüksek basınç değerlere ulaşmıştır. Silis dumanı oranı arttıkça silis dumanı kullanıldığı harç numunelerin basınç dayanım da artmaktadır. Ancak basınç dayanımdaki en fazla yükseliş silis dumanının %10 ilaveli harç numunelerinde gözlemlenmiştir. Bununla birlikte 7 ve 90 günlük dayanım yükselişlerine göre 28 günlük dayanım ki yükseliş daha fazla olduğu görülmüştür [44].

Mineral bir katkı olarak beton üretiminde kullanılan silis dumanı, beton karışımının serbest suyun miktarını artırır ve büyük taneli çimento arasındaki su ile yer değiştirerek granülometrinin iyileşmesine yardımcı olur. Silis dumanı oranı arttıkça beton karışımındaki su ihtiyacı artmakta, bunun nedeni ise silis dumanının yüzey alanının fazla olmasıdır [45, 46].

Yapılan çalışmalara göre silis dumanının erken yaş dayanım üzerindeki artırma etkisinin belirgin olmadığı, 28 gün sonrası daha belirgin olduğu görülmektedir. 28 günlük basınç dayanım değerlerindeki artış silis dumanı oranına bağlı olarak %20-50 kadar bir artış sağlayabilmektedir [47]. Mineral katkısı olan silis dumanının, çeliğin korozyona karşı direncinin yükseltmek için betonlarda kullanılmasının gerekli olduğu ortaya çıkmakta ve kullanılması önerilmektedir [48].

Yapılan başka bir çalışmada farklı su/bağlayıcı oranlı ve farklı silis dumanı ilaveli betonlarda betonun yarmada çekme dayanımı araştırılmıştır. Silis dumanının %5-10'e kadar ikamesiyle üretilen betonların yarmada çekme dayanımında artış oldukça yüksektir. Ancak silis dumanı ilavesi %15 değeri geçtiğinde betonun yarmada çekme dayanımdaki artma önemli ölçüde değildir [49].

Silis dumanından yaygın olarak yüksek dayanımlı betonların üretiminde istifade edilmektedir. Silis dumanı ve süper akışkanlaştırıcı katkıların beraber kullanıldığında, su/çimento oranı düşer dolayısıyla iç yapısı daha sağlam olan bir beton elde edilebilmektedir [50, 51].

Uzun süreli performans aranan ve kısa sürede zarar görmesi istenmeyen, köprü kirişleri, köprü mesnetleri ve payandaları, barajlar, otobanlar gibi yerlerde silis dumanı katkılı yüksek

performanslı betonlar kullanılır. Silis dumanı katkılı yüksek performanslı betonlar aynı zamanda endüstriyel kirliliği, deniz suyu ve buna benzer diğer çevresel etkileri olan yerlerde de kullanılmaktadır [52].

Katkılı çimento (KÇ) kullanılarak değişik dozajlar ve değişik silis dumanı oranları kullanılarak betonun basınç dayanımı araştıran bir çalışmada şu sonuçlara ulaşılmıştır. Bu çalışmada silis dumanı ağırlıkça çimento ile yer değiştirmiştir. Çimento dozajı 300, silis dumanı oranları %0, %5, %10 ve %15 olan numunelerde 28 günlük basınç dayanım değerleri sırasıyla 27.4 MPa, 30.1 MPa, 33.5 MPa ve 36.0 MPa olarak çıkmıştır. Çimento dozajı 350, silis dumanı oranları %0, %5, %10 ve %15 olan numunelerde 28 günlük basınç dayanım değerleri sırasıyla 31.1 MPa, 33.7 MPa, 36.2 MPa ve 37.9 MPa olarak çıkmıştır. Çimento dozajı 400, silis dumanı oranları %0, %5, %10 ve %15 olan numunelerde 28 günlük basınç dayanım değerleri sırasıyla 34.6 MPa, 35.0 MPa, 38.2 MPa ve 40.5 MPa olarak çıkmıştır. Çıkan basınç dayanımı değerlerine göre silis dumanının düşük dozajlı betonlarda etkisi daha fazla olmaktadır. En yüksek basınç dayanımı değerleri silis dumanının %15 olduğu numunelerden elde edilmiştir [53].

2.4. Geri Dönüşümlü Agregayla Üretilmiş Çevre Dostu Betonlar

Agregalar, yapı malzemesi olarak en çok kullanılan malzemesi olan betonun %70-80 kısmı oluşturan en önemli hammaddedir. Agregaların büyük miktarda kullanıldığından doğal kaynakların tükenmemesi için kullanılmış agregaların geri dönüşümü gündeme gelmiştir. Beton, beton kaplamalar, yol ve benzer yapı işlerinde kullanılmış olan agregalar çeşitli yöntemler kullanılarak geri dönüşümü yapılmakta ve yeniden kullanımı sağlamaktadır. Ömrü bitmiş veya plan değişikliğine uğramış yapılardan çok büyük miktarlarda atık beton ortaya çıkmaktadır. Ortaya çıkan bu atık betonlar çevre kirliliğine sebep olmaktadır. Bu tip atıklardan elde edilen agregalara geri dönüşümlü agregalar denilmektedir. Geri dönüşümlü agregaların kullanıldığı betonlar hem çevre dostu beton özelliğine sahip ve hem de ekonomik olmaktadır. Araştırmanın bu bölümünde geri kazanılmış agregalı betonlar ile ilgili yapılmış araştırmalara yer verilmiştir.

Geri dönüştürülmüş agregaların betonda yeniden kullanımı ile ilgili araştırmalar 2. Dünya Savaşı'nın sonrasında başlamıştır. Çalışmalar sonucu, yıkılmış beton ve taş duvar üremesinden ortaya çıkan geri dönüşümlü agreganın, beton üretiminde, yol inşaat projelerinde alt temel malzeme olarak ve yığma birimlerin üretimi dahil olmak üzere sivil altyapı projelerinde yaygın olarak kullanılabilceğini göstermiştir. Ancak uygulamada, geri dönüştürülmüş agrega beton üretiminde yaygın olarak kullanılmamaktadır. Bunun nedenlerinden biri, taşıyıcı elemanlarda kullanılan betonların iyi dayanım ve dayanıklılık özelliklerine sahip olması gerektiğidir. Geri dönüştürülmüş agregalı betonların kullanımı yaygınlaştırılmak amacıyla bu betonların özelliklerini doğrulamak için kapsamlı araştırmalar gerekmektedir [54].

Çevrenin ve hızla azalan doğal kaynakların korunması sürdürülebilir bir gelişimin özü olmalıdır. Sürekli gelişen sanayi, inşaat ve ömrü tamamlanmış inşaatların yıkım sonrası oluşan atıkların bertaraf edilmesinde ciddi sorunlar oluşmaktadır [55]. Bir yandan, betonda kullanılan doğal agrega kaynakların kritik kıtlığı varken, diğer yandan yıkılan yapılardan büyük miktarlarda atık beton ortaya çıkmakta ve ciddi bir şekilde ekolojik ve çevresel sorunlara yol açmaktadır [56]. Bu sorunların çözümlerinden biri, bu atık betonu yeni betonda agrega olarak kullanılmasıdır [57]. Atık betonlardan geri dönüşümlü agregaların betonda kullanılması, doğal agregaların kullanımına güvenilir bir alternatif olabilmektedir. Ayrıca bu tür atıkların uzaklaştırılması hem ekonomi hem de çevre açısından sorunlar yaratmaktadır [58].

Zamanımızın %90'ı binalar ve altyapılarda (otoyollar, yollar, köprüler vb.) geçtiği için yapı malzemeler hayatımızın en önemli malzemelerinden biridir [59]. Buna karşılıklı yapı sektörünün, bu sektörde kullanılan hammaddenin %50'si doğadan sağladığı, toplam enerjinin %40'ı kullandığı ve oluşan toplam atıkların %50'sini oluşturduğu belirlenmektedir [60].

Kaliteli betonlar için esas temel agregaların kabul edilebilir özellikleridir, ancak uygun karışım oranları ve beton üretim yöntemleri oldukça önemlidir. Geri dönüşümlü agregalar daha önce betonda kullanılmış doğal agregalardan elde edilir. Geri dönüşümlü agregaların fiziksel özellikleri harcın kalitesine ve miktarına bağlıdır [61]. Geri dönüştürülmüş agregaların yoğunluğu ve su emme kapasitesi harçtan etkilenir ve betonun taze ve sertleşmiş özelliklerini kontrol etmek için geri dönüştürülmüş agregaların özelliklerinin beton üretiminde kullanılmasından önce bilinmesi gerekmektedir. Su emme kapasitesi, geri dönüştürülmüş agregalarını normal agregalardan ayıran en önemli özelliktir. Çünkü hem taze hem de sertleşmiş beton özelliklerin üzerinde etki etmektedir. Bazı araştırmacılar, taşıyıcı elemanlarda kullanılan betonlar için standart su emme kapasitesinin (%5) korumak yani aşmamak için geri dönüştürülmüş agrega kullanım oranı %30 olarak önermektedir [62,63]. Geri dönüştürülmüş agreganın su emmenin fazla olması demek, iri agrega yerine geri dönüştürülmüş agrega ve ince agrega yerine doğal kum kullanılan betonlarda aynı işlenebilirliği sağlamak için %5 oranda su ihtiyacı artmaktadır [64-69].

Basınç dayanım açısından, %100 geri dönüşümlü iri agregalı betonlar, geleneksel betonlara göre daha düşük su/çimento oranı ile üretilirse daha yüksek basınç dayanımına sahip olabilmektedir. Ancak geleneksel betonlarla aynı su/çimento oranına sahip ve iri agrega yerine %100 geri dönüşümlü agrega kullanılan çevre dostu betonların basınç dayanımında düşüş meydana gelmekte [70] ve bu düşüş doğal agregalı betonlara göre %10 olarak belirlenmektedir [71]. Hansen'in yaptığı çalışmada da geri dönüştürülmüş agreganın betonda iri agrega yerine kullanıldığında basınç dayanımı değerlerinde aynı azalmalar görülmüştür [72].

Atık betonlardan elde edilen agregaların betonda iri agrega olarak kullanılmasının, betonda ince agrega olarak kullanılmasından betonun basınç dayanımı üzerinde daha fazla olumsuz etki etmektedir [71]. Yani geri dönüşümlü agregalar ince agrega olarak kullanıldığında, basınç dayanım

üzerinde olumsuz bir etki etmemektedir [73,74]. Bir diğer çalışmada ise, geri dönüşümlü agregaların 0-2 mm'lik inceliğe sahip olan kısımlarının yerine doğal kumun kullanılması yeni beton özelliklerini iyileşmesi söylenmektedir [75].

Geri dönüştürülmüş agregalı betonları ile ilgili yapılan çalışmalarından, geri dönüştürülmüş agreganın %100 ikameli betonların dışında, geri dönüştürülmüş agregalı betonların yarmada çekme dayanımı referans betona göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Bunun aksine geri dönüştürülmüş agreganın yüzdesinin artışı ile betonun elastisite modülü düşüş görülmüştür. Bu da geri dönüştürülmüş agregaların doğal agregalara göre deformasyona daha çok eğilimli olduğu göstermektedir. Sonuç olarak geri dönüştürülmüş beton agregasının doğal agregadan daha düşük bir modüle sahip olması ve ayrıcı betonun elastisite modülü, agregaların elastisite modülüne önemli ölçüde bağlı olduğu iyi bilinmektedir [66, 76].

2.5. Atık Mermer Tozu ile Üretilmiş Çevre Dostu Betonlar

2.5.1. Mermer ve Kullanım Alanları

Mermer madenleri ekonomi açısından ülkeler arası fark yaratan madenlerdir. Tarih boyunca insanlar, ısınma, barınma, koruma ve sanat gibi değişik sebepler ile madenlere ihtiyaç duymuşlar. Bu ihtiyaçlar gün geçtikçe artmıştır ve doğal kaynaklarının tüketimi hızlanmıştır. Mermer 1000'lerce sene önce insan hayatına girmiş ve o zamanlar mermer yapı taşı şeklinde kullanılmıştır. Daha sonra sanatsal dizayn ve süsleme amacı ile kullanılmaya başlamış ve bu önemi günümüze kadar ayını kalmıştır. Doğal kaynaklar, ülkelerin kalkınmaları ve ayakta durabilmeleri için önemli bir faktördür [77, 78].

Mermerin bilimsel tanımına baktığımızda, ısı ve basınç (metamorfizma) ile değişime uğrayan kalker ve dolomitik kayaların kristalleşme sonucu oluşan bir kaya türüdür. Mermer, %90-98'i kalsiyum karbonat (CaCO_3) ve az miktarda magnezyum karbonat (MgCO_3) içermektedir. Kalsiyum karbonatlı mermerlerde kalsit esas olan mineraldir. Ayrıca, klasik mineral yanında düşük oranlarda silika, silis, demir oksit, feldspat, mika ve organik maddeler de bulunabilmektedir. Genelde mermer renkleri grimsi ve beyazdır. Ancak, içerdiği diğer maddeler sebebi ile renkleri pembe, sarı, kırmızı, esmerimsi, mavimsi ve vişne rengi şeklinde olabilmektedirler [79, 80].

Ticari anlamda mermer, Türkiye'nin 3213 Maden Yasası'na göre ticari amaçlarına uygun ebatlarda bloklar halinde kesilebilen, yüzeyi işlenebilen ve parlatılabilen her tür taş (magmatik, metamorfik, tortul vb.) mermer olarak tanımlanmaktadır. Lössitli siyenit, granit, fanolit, serpantinler ve diyabaz gibi magmadan gelen kayalar da bu tanıma girmekte ve mermer olarak adlandırılmaktadır [81, 80].

Mermer üretimi ise, jeolojik yapıları ve yaltaklanma durumlarına göre açılan mermer ocaklarından, uygun geometrik şekillerde ve ebatlarda bloklar halinde fabrikalara getirilip

fabrikalarda kesilerek plakalar haline getirilir. Daha sonra silme ve cilalama işlemleri gerçekleştirilir. Elde edilen camlı bir yüzeye sahip mermer plakalar daha sonra istenilen boyutlarda kesilerek kullanıma hazır hale getirilir. Fakat bütün bu kesme işlemlerinde gürültü ve tozun oluşmaması için su kullanılmaktadır [77, 78].

Mermer sektöründe, İtalya, Türkiye, İspanya, Çin ve Hindistan arasında bir rekabet yaşanmaktadır. Bunların ihracat ve ithalat durumlarına bakıldığında, daha çok getirisi bu taşlarının işlendiği bölgelere gözlemlenmektedir. Ancak mermer taşların, üretim kayıpları ve yakın bölgelere taşıma masrafları göz önüne alınırsa Türkiye bu durumda ciddi bir avantaja sahiptir. Mermer Sektöründe, Türkiye'nin jeolojik yapısı, mermer madenlerinin büyüklüğü ve mermer çeşitliği, Türkiye söz sahibi olmaktadır. Dünya mermer rezervinin %40'ı Türkiye'de bulunmaktadır [82].

Mermerin kullanım alanlarına baktığımızda, önceki asırlarda dayanıklılığı nedeni ile daha çok sanatsal işlerde kullanılan mermer, bugün inşaat endüstrisi başta olmak üzere, süs eşyaları yapımı, dekorasyon işleri, mezarlık ve heykel yapımında kullanılmaktadır. Büyük ebatlı bloklarda kesilen plakalar ve diğer çeşitli ürünler, yer kaplamasında, merdivenlerde, mutfak, banyo, şömine ve binaların iç ve dış cephe kaplamasında kullanılabilir. Renkli mermer, damalı mermer, yeşil mermer ve oniks mermer özellikle masa, süs eşyaları, biblo, sehpa, kül tablası ve avize gibi ürünlerin yapımında kullanılmaktadır. Mermerlerin en değerlisi arı beyaz rengi olan mermer sanatsal işlerinde kullanılmaktadır. Mermeri en çok kullanan ülke Amerika Birleşik Devletleri ve Almanya'dır. Ancak doğu ve orta doğu ülkelerde de son zamanlar mermer kullanımını artmıştır [80].

2.5.2. Mermer Atıklarının Oluşumu

Mermer, eski zamanlardan biri kullanılan en yaygın yapı malzemelerinden biridir. Mermerin mineralojik bileşenleri, elde edileceği yerine göre değişmektedir. Mermer, farklı uygulamaları için farklı işlemlerden geçilir ve bu işlemler sırasında ister mermer ocaklarında olsun ister mermer fabrikalarında olsun büyük miktarlarda atık oluşturmaktadır [83]. Atık mermer tozu, mermer ocaklarında ve fabrikalarında yaklaşık olarak toplam üretimin %40 – %60'ı atık olarak çıkan kısımdır. Türkiye'de üretimi gerçekleştiren mermer miktarı yıllık 7 milyon tondan fazla olmaktadır. Açığa çıkan bu atıkların kirlilik yükü fazla olmamasına rağmen, hacimleri büyük olan bu atıkların stoklanmasında çeşitli problemler yaşanmaktadır. Atık mermer tozunun inşaatla kullanımı ile ilgili birçok araştırma yapılmıştır [15].

Son zamanlarda, mermer atıkları büyük çevre problemlerine yol açmaktadırlar. Mermer madenleri yeryüzüne yakın olan madenlerindedir. Çeşitli yöntemlerle, 15-20 tonluk bloklar şeklinde ocaklarda kesilir ve daha sonra işlenmek için fabrikalara taşınırlar. Fabrikalarda mermer istenilen boyut ve kalınlıklarda kesilme işlemi sırasında, kesicinin ısınmaması ve oluşan tozun havaya karışmaması için su kullanılmaktadır. Bu yapılan işlemlerin sonucunda atık mermer çamuru açığa çıkmaktadır. Bu açığa çıkan atık madde, ilk hali ile veya suyu alındıktan sonra bilinçsiz bir

şekilde çevreye atılmaktadır. Çevreye atılan bu atık maddenin sebep olacağı zararlar çevremizi olumsuz yönde etkilemektedir [12, 13].

Mermer atıklarının şekillerine ve boyutlarına baktığımızda, mermer ocaklarında oluşan atıklar, büyük ve düzgün olamayan parçalarının istenilen şekle getirmesinde oluşan atıklardır ve pasa olarak adlandırılmaktadır. Değerlendirilmesi mümkün olmayan atıklar mermer ocaklarının etraflarına atılmaktadır. Fabrikalara getirilen mermer blokları, mermerin istenilen ebatlara getirilmesi için çeşitli işlemlerden geçirilir ve bu işlemler sonucunda çeşitli boyutlarda mermer atıkları oluşur. Katrak, Stone Tech (ST) ve Köprü kesme gibi işlemler esnasında düzgün geometrik şekillere sahip olmayan, paledyenler denilen plakalar şeklinde oluşmakta ve bu atıklar mozaik, karo amaçlı kullanılabilirler. Levha ebatlama ve baş kesme gibi işlemler esnasında iri taneli atıklar oluşmaktadır. Silme-Cilalama işleminde genelde 1mm'den küçük tanecikler şeklinde atıklar oluşmaktadır. Bütün bu işlemler esnasında oluşan iri atıkların yanında bir de çamur şeklinde atık mermer tozu oluşmaktadır. Oluşan bu atık çamur kurulduktan sonra kamyonlar ile uzaklaştırılır [84-90]. Mermer üretimi ve mermer atıkların oluşum şekilleri Şekil 2.1'de verilmiştir.



Şekil 2.1. Mermer atıklarının oluşumu

2.5.3. Mermer Atıklarının Genel Kullanım Alanları

Mermer atıklarının kullanım alanları, mermer atıklarının çeşidine bağlı olarak birçok alanlarda kullanılabilmektedirler. Mermer atıkları, inşaat sektörü, çimento üretimi, seramik sektörü, kâğıt üretimi, plastik sanayisi, yem üretimi, boya sektörü, tarım ve gübre üretimi, cam sektörü, demiryolu zemin malzemesi, yol yapımı, kimya sanayi, haşere öldürücü ilaçlarda, soda yapımı, otomobil lastik sektörü, refrakter malzeme üretimi, patlayıcı malzeme üretimi, temizlik malzeme üretiminde ve birçok daha alanlarda kullanılabilmektedirler [84, 85, 91]. Ancak mermer atıkları

bu alanlarda, bazı kimyasal ve fiziksel işlemlere uğrayarak kullanılabilir. Bu durumda mermer atıkların kullanımı üreticiye mali yük getirir ve dolayısıyla ekonomik olmamaktadır. Mermer tozunun betonda kullanımı ise kullanılmadan önce öğütme işlemi dışında başka hiç bir işlem gerektirmez ve böylece mermer atıklarının kullanımı için en uygun bir alandır [91].

2.5.4. Atık Mermer Tozunun Betonda Kullanımı

Bu deneysel çalışmada atık mermer tozu lastik agregalı çevre dostu betonda mineral katkı olarak kullanılmıştır. Literatüre bakıldığında atık lastik ve atık mermerin beraber kullanıldığı bir çalışma bulunmamaktadır. Bundan dolayı literatür çalışmasının bu kısmında atık mermer ile üretilmiş çevre dostu betonları ile ilgili yapılan birkaç çalışmanın özeti verilmiştir.

Beton üretiminde atıkların ve yan ürünlerin kullanılmasının teknik önemi, betonun performans iyileştirmesi ile ifade edilebilmektedir. Ekonomi olarak sağladığı faydaları, genellikle pahalı ve/veya az bulunan malzemelerinin kullanım miktarı ucuz malzemeler ile azaltılması olarak ifade edilebilmektedir. Beton üretiminde atıkların kullanılmasının çevresel faydaları ise, endüstriyel atıklar geri dönüştürüldüğünde, sadece CO₂ emisyonları azaltılmakla kalmaz, aynı zamanda diğer endüstrilerden kalan ürünler yeniden kullanılabilir ve daha fazla doğal kaynak tasarrufu sağlanabilmektedir [92].

Mermer tesislerinde oluşan atık mermer çamurunun kuruması için bir süre tesislerde bekletilir. Kuruduktan sonra bu atıklar tesislerden uzaklaştırılıp boş alanlara boşaltılmaktadır. Boşaltılan bu atıkların çevremize çeşitli zararları olabilmektedir. Mermer atıklarının beton üretiminde kullanılabilmesi için toz haline getirilmesi gerekmektedir. Toz haline getirilen mermer atıklarına atık mermer tozu adı verilmektedir. Atık mermer tozu betonda belirli oranlarında hem çimento yerine hem de ince agrega yerine kullanılabilir. Atık mermer tozu ile üretilen betonlar hem çevre dostu hem de daha iyi dayanım özelliklerine sahip olabilmektedirler. Literatür çalışmasının bu kısmında atık mermer tozu ile üretilen çevre dostu betonları ile ilgili yapılan bazı çalışmaların özeti verilmektedir.

Shirule ve Arkının yaptığı çalışmada, atık mermer tozu beton karışımında ağırlıkça %10 oranında çimento yerine kullanılmıştır. Üretilen beton küp numunelerinin, referans betona göre daha yüksek basınç ve yarmada çekme dayanımı olduğu görülmüştür [93]. Buna benzer başka bir çalışmada, atık mermer tozu betonda ağırlıkça %5 ve %7,5 oranlarında çimento yerine kullanılmıştır. Mermer tozu, betonun basınç dayanımında önemli bir artış sağlamıştır [94].

Mermer tozu betonda ince agrega olarak değerlendiren yapılan çalışmada, atık mermer tozunun içeriğindeki artışla betonun basınç dayanımı artmıştır. Ancak maksimum artış atık mermer tozunun %15 oranında kullanılması ile 360 günlük beton numunelerinde görülmüştür. Aynı çalışmada atık mermer tozlu betonların, referans betona göre su geçirimsizliği ve 12 ay sonraki sülfata karşı direnci ve basınç dayanımının daha yüksek olduğu belirtilmiştir [95].

Bahar Demirel'in yaptığı çalışmada, betonda ince agrega (0.25 mm 'lik elekten geçen) yerine ve %0, %25, %50 ve %100 oranlarında kullanılmış atık mermer tozunun, betonun mekanik özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Beklendiği gibi mermer tozunun ilavesindeki artışla betonun birim ağırlığı artmıştır ve nedeni ise atık mermer tozunun birim ağırlığının agreganıninkisine göre daha fazla olmasıdır. Atık mermer tozunun ilavesindeki artışla beraber betonun basınç dayanımı da artmıştır ve en büyük değeri mermer tozunun %100 olduğunda gözlenmiştir. Ayrıca bu çalışmada betonun ultrases geçiş hızı, dinamik elastisite modülü ve gözeneklilik değerlerine de bakılmıştır. Mermer tozunun içeriğindeki artışla, betonun gözeneklilik oranı düşmüş ve ultrases geçiş hızı artmıştır. Yüksek birim ağırlığı ve yüksek basınç dayanımı sahip olan bu mermer tozlu betonların dinamik elastisite modülü değerleri de otomatik olarak artmıştır ve en büyük değeri, mermer tozunun % 100 ikamesi ile elde edilmiştir [96].

2.6. Atık Lastik Agrega İle Üretilmiş Çevre Dostu Betonlar

Çalışmanın bu bölümünde, Lastik Üretimi, Lastik Genel Özellikleri, Atık Lastiklerin Depolanması ve Çevre Tehditleri, Atık Lastiklerin Genel Kullanım Alanları ve Atık Lastiklerin Beton İçinde Agrega Olarak Kullanımı ile ilgili yapılan çalışmalara yer verilmiştir.

2.6.1. Lastik Üretimi

Lastik beş bin sene önce Sümerler tarafından icat edilmiştir. Daha sonra günümüzde kullanılan lastik tekerliğinin hammaddesi olan kauçuk keşif edilmesiyle ve lastik ile ilgili araştırmalar sonucunda bu sektör devamlı gelişmiştir. 17. yüzyılın ortasında bir Fransız bilim adamı, araştırmalar yapmak üzere Güney Amerika'ya gitmiştir ve yerli isimi olan HEVEA ağacından bir sıvı elde edilmiştir. Aynı zamanda Amazonlular bu ağaçları Kaa (odun) O-Chu (sızan, ağlayan) olarak adlandırıyorlardı ve kullandığımız kauçuk kelimesi buradan gelmiştir.

Ham kauçuk, yapay kauçuk, rejenere lastik ve latekster lastik üretiminde kullanılan ham maddeleridir. Ham kauçuk, $(C_5H_8)_n$ formüle sahip olan ham kauçuk karbonlu hidrojen yapılı bir bitkisel sıvı şeklinde bulunur. Ham kauçuk, Hevea, Fieus, Manilot, Elastiea,Guayola, Kök sakız ve Ökse otu gibi bitkilerden elde edilmektedir. Sayılan bitkilerden en önemli, kauçuğun kolay ve ekonomik bir şekilde elde edilebilen bitki Amerika'nın Güneyinde bulunan Hevea ağacıdır. Bu ağaçlar 10-20 m boy ve 50-80 cm'lik çaplara sahiptir ve bu ağaçlardan günde 200 gr ürün elde edilir. Bu ürün, beyaz ve yapışkan bir üründür ve Latex olarak adlandırılmaktadır. Çeşitli işlemlerinden sonra kuru kauçuk ve daha sonra RSS (Ribbed Smoked Sheets) imal edilir.

Yapay kauçuk, doğal kauçuğa kimyasal özelliklerin açısında çok benzeyen ve laboratuvar ortamında elde edilen bir maddedir. Bu konuyla ilgili önemli çalışmalar Almanya'da 1930-1933 yılların arasında yapılmıştır. Yapay kauçuğun bazıları, BN (Bütadien-Natrium), ABR

(Acrylonitrile-Bütadiene Rubber), SBR (Stiren-Bütadiene Rubber), IIR (Isobutylen Isoprenere Rubber), silikon ve CR(Chloroprene Rubber) olarak isimlendirilmektedirler.

Lastiğin başka bir ham maddesi olan rejenere, selülozun suda çözünebilen hidroselüloza dönüştürülmesiyle elyaftan temizlenen lastik tozu yumuşatıcı maddelerin vasıtasıyla basınç ve ısı etkisinde plastikleşme olmaktadır. Bu yoluyla, yüksek kopma dayanımına ve diğer özellikleri de üstün olan lastiğin hammaddesi elde edilmektedir. Az enerji tüketmesi, üretim sırasında verilen şeklin korunması, çabuk pişirilmesi, yüksek vulkanizasyona mukavemeti ve ucuz maliyet gibi karakterlerinden dolayı lastik sektöründe rejenere, ham kauçuktan sonra en çok kullanılan ham maddedir [97].

2.6.2. Atık Lastiklerin Oluşumu ve Depolanması

Günümüzde en büyük problemlerden birisi katı atıkların günden güne artışı ve ciddi boyutlarda çevreye zarar vermesidir. Birçok ülkenin karşı karşıya kaldığı bu problem son zamanlarda sayıları artan çevresel kuruluşları çözüm aramaya zorlamaktadır. Atıkların yakılması veya düzenli depo alanları oluşturularak gömülmesi en çok uygulanan yöntemlerdir. Atıkların değerlendirilmesi yani yeniden kullanılması, atıkları azaltmada ve çevreye zarar vermesini önleminde etkili bir yöntem olmaktadır [98].

Katı atık oluşturan en büyük sektörlerden birisi otomotiv sektörüdür. Günümüzde ulaşım hizmetlerine ihtiyacın artması ile taşıt üretimi artmış ve taşımacılık sektöründe büyük gelişmeler olmuştur. Taşıt üretiminin artmasına paralel olarak, araç lastiği üretimi de giderek artmıştır. Avrupa'da 240 milyon adet, Japonya' da 100 milyon adet ve Amerika Birleşik Devletleri'nde (ABD) her yıl 240 milyon âdetin üzerinde atık otomobil lastiği, 45 milyon âdetin üzerinde de kamyon lastiği birirmektedir. Ayrıca, yılda 188 milyon atık lastik depolanmaktadır. Bu nedenle, Çevre Koruma Ajansı (EPA) tarafından kurulan ve yaklaşık 2 ile 3 milyon kapasiteli lastik depo alanları yetersiz kalmıştır. 1980 yılının ortalarına kadar bu lastiklerin yakılması yoluna gidilmiş, fakat bunun sonucunda ortaya çıkan yağ ve duman, hava, su ve zemin kirliliğine sebep olmuştur. ABD' de ortaya çıkan bu atık lastik birikimini eritmek için alternatif önlemler düşünülmüştür. Kullanılmış araba lastikleri parçalanarak yol dolgularında kaplama alt malzemesi olarak, istinat duvarları, çarpma bariyerlerinde hafif agrega olarak ve sıcak karışım asfalt kaplamalarında geliştirilmiş malzeme olarak kullanılmaya başlanmıştır [99].

Türkiye'de de taşıt üretiminin artmasıyla beraber taşıt lastiği üretimi de giderek artmaktadır. 2000 yılında iç pazarda yaklaşık 126 000 ton araç lastiği satılmıştır. Bu satışların 40 000 tonu araç üreticilerine, 86 000 tonu da doğrudan yenileme pazarına gerçekleşmiştir. Bu verilere göre kullanım ömrünü dolduran lastiklerin senelik miktarı 90.000 ton olarak ön görülmektedir. Böylece 2000 yılında kullanım ömrünü doldurmuş atık lastik miktarı 120 000 ton civarına ulaşmıştır [100].

Atık lastiklerin depolanması, atık lastiklerine uygulanan diğer yöntemlerden en son uygulanan bir yöntemdir. Ancak bazı ülkelerde atık lastiklerin depolanması yasaktır. 2003 yılı kadar izin verilen bu yöntem 2003 yıldan sonra Avrupa ülkelerinde yasak olmuştur. Bu yasaklamalar neticesinde atık lastiklerin geri dönüşümü ile ilgili bilimsel çalışmalar artmıştır. Gelişmiş ülkelerde atık lastikleri depolama sahasına götürülmeden, ilerde kullanılacağı yere göre parçalanır ve daha sonra uygun depolama sahalarda depolanır. Şekil 2.2’de olduğu gibi bu depolama işleminde, hurda lastiklerin taşınması, yerleştirilmesi ve yangın önlemlerin alınması gibi yatırımlara ihtiyaç duyulmaktadır [101].



Şekil 2.2. Atık Lastiklerin Depolanması

2.6.3. Atık Lastiklerin Oluşturduğu Çevre Problemleri

Türkiye ve dünyada doğal kaynakların uygunsuz bir şekilde kullanılmasının oluşturduğu atık çevre problemlerinin ve endüstri atık çevre problemlerinin etkisi son zamanlarda fazla hissetmeye başlamıştır. Tüm dünyada, araç üretimine paralel olarak lastik tekerlik üretimi hızlanmıştır ve bunun sonucunda da atık lastik oluşumu artmıştır. Atık lastiğin çevrede yarattığı problemleri gün geçtikçe artmakta ve dünyada bu problemleri çözmek için çözümler beklenmektedir. Kontrolsüz yangınlara sebep olması atık lastiklerin oluşturduğu en büyük problemlerindendir. Bu yangınlar sonucunda açığa çıkan yağlı duman, yüksek ısı ve zehirli gazlar çevremize ciddi zararlar vermektedir. Bu yangınlar uzun süre sürer ve söndürülmesi oldukça zordur. Bunun nedeni ise, bir lastik içinde petrokimyasal içeriğinin 9,5 litre yağ olmasıdır [102].

Lastiğin yanmasından CO₂, inert kalıntıları ve su buharı gibi ürünler ortaya çıkar, ama açık havada yanması, ısısı yüksek, zehirli siyah duman yayan ve tamamlanmamış bir yanma olur. Ki bunun sonucunda çok zararlı maddeler hava ve çevreye yayılmış olur. Bununla birlikte, ömrü tamamlanmış lastiklerin tamamlanmamış yanması yani çıkan yangını su ile söndürüldüğünde suyla birlikte çeşitli zararlı kimyasal bileşenler çevre ve suya karışmaktadır [101]. Anlatılan durum Şekil 2.3’te açıkça görülmektedir.

Sivrisineklerin yaşamı ve çoğalması için uygun bir ortam sağlansın ve neticesinde sivrisineklerden bulaşan hastalığın yayılması atık lastiklerin oluşturduğu bir diğer tehlikeli problemdir. Yağmur suyu ile atık lastik yığınlarında bulunan, larvaları ve salgıları olan zararlı böcekler çevremize yayılır ve çocuk hastalıklarına sebep olmaktadır[102].



Şekil 2.3. Atık lastiklerin oluşturduğu en büyük tehlike, kontrolsüz yangınlar ve atık lastiklerin kirlettiği su

2.6.4. Atık Lastiklerin Genel Kullanım Alanları

Her yıl, araç sayısına bağlı olarak dünya çapında 800 milyon adet atık lastik meydana gelmektedir. Bunların, Sadece Amerika Birleşik Devletleri'nde yılda yaklaşık 300 milyon adet atık lastik meydana gelmekte ve bu rakamın her yıl yaklaşık %2 artması beklenmektedir. Bu sorun, hızla gelişmekte olan Çin, Hindistan vb. Ülkelerde lastiklerin iç tüketimdeki hızlı büyüme sebebiyle daha ciddi hale gelecektir. Geçmişte atık lastiklerinin çoğu depolama alanlara atılmıştır. Ancak bu yöntemin atık lastiklerin taşınması, yerleştirilmesi, arazi işgali, ekonomik kaybı ve bunların en önemlisi olumsuz çevre etkileri göz önüne alındığında uygun bir çözüm olmadığı açıktır. Bu dezavantajların aşılmasında, birçok ülkede atık lastiklerin yeniden kullanımı ile ilgili çalışmalar yapılmıştır [103].

Atık lastik stoklarından ortaya çıkan problemlerin hafifletmek için, gelişmiş ülkeler atık lastiklerin %70'i çeşitli yapı uygulamalarda kullanılmaktadırlar. Atık lastiklerin düşük birim ağırlığı, yüksek darbe mukavemeti gibi benzersiz özellikleri nedeniyle birçok alanda kullanımı faydalı olmaktadır. Yeniden kaplama, geri dönüşümü (inşaat sektöründe) ve enerji geri kazanımı (çimento ve benzer ürünlerin üretiminde, piroliz vb.) atık lastiklerin kullanılması için kullanılan metotlardır [104].

Atık Lastiklerin Enerji Geri Kazanımında Kullanımı

Lastiklerin yüksek enerji içeriği göz önüne alındığında, santrallerde yakıt olarak büyük miktarlarda atık lastik kullanılmaktadır. Bu durum yakıt enerjinin geri kazanımına önemli derecede yardımcı olmaktadır. Özellikle, atık lastikler kömürün yerine kullanılarak azot emisyonlarını azaltarak çimento fırınlarında kontrollü bir şekilde yakılmaktadır. Ayrıca, kömür yerine atık lastikleri kullanıldığı zaman fırınlardaki sıcaklık daha yüksek olmasından dolayı temiz bir yanma gerçekleşir ve dolayısıyla tamamlanmamış yanma sonucu oluşan katı atık miktarı azaltılabilir [105].

Atık lastiklerin kömüre göre yakıt enerjisinin daha fazla olduğu için, lastik üretim fabrikalarında, enerji üretim santrallerinde, selüloz ve kâğıt fabrikalarında, kireç fırınlarında, çimento fabrikalarında ve küçük buhar jeneratörlerinde enerji ihtiyacı sağlamak için yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak lastiklerin kimyasal bileşenlerine baktığımızda, atık lastiklerin yakma yoluyla kullanılmasının mantıklı bir yöntem olmadığı ortaya çıkmaktadır. Çünkü lastikler; 17'den fazla ağır metal (krom, kurşun, çinko, arsenik vb.), doğal ve sentetik lastiklerin yapısında bütadien ve stiren, karbon karası ve klor, benzol yapıştırıcı yağ ve diğer petrokimyasallar gibi zararlı maddeler içermektedirler [106].

Atık Lastiklerin Malzeme Geri Kazanımında Kullanımı

Parçalama ve granüle etme; atık lastiklerin kullanma yollarından en çevresel yol tekrar kaplama olsa da lastiklerin atık durumuna geldiği zaman uygun bir metotla bertaraf edilmesi gerekmektedir. Diğer proseslerde kullanım amacıyla atık lastikler parçalanarak daha küçük kauçuk kırıntı haline getirilmektedir. Bu parçalar ve kırıntılar yakıt malzeme olarak kullanılır. Atık lastikleri farklı alanlarda kullanmak üzere farklı büyüklüklerde öğütülerek yeni plastik üretiminde, betonda ince ve iri agrega ve asfaltta dolgu malzemesi olarak kullanılmaktadır. Atık lastiklerin parçalanmasının genel amaçları ise taşımayı kolaylaştırmak, öğütme işleminin ilk adımını oluşturmak, farklı alanlarda kullanmak (fırınlarda yakıt olarak, dolgularda vb.) depolanmasına izin verilen ülkelerde daha kolay depolanması ve depolama alanını daha aza indirilmeştir. Atık lastiklerin iki tip granüle etme metodu kullanılmaktadır. Bunlardan birisi kriyojenik (dondurarak) öğütme diğeri ise normal ortam sıcaklığında öğütme metodudur. Atık lastiklerin farklı büyüklüklerdeki granüllerinden elde edilen malzemeler; açık ve kapalı spor sahalarda yüze ve yer döşemesinde dolgu malzemesi, katı lastikler, kauçuk sanayisinde farklı uygulamalar için karışım malzemesi, çatı malzemeleri, yapay spor çimi altı, termoplastik ve kauçuk karışım malzemeleri, halı altı malzemeleri, gözenekli drenaj boruları, beton agregaları, hafif yol yapım malzemesi, bataklık ıslahında kullanılan malzeme, zemin paspas malzemesi, asfalt kaplamalarında kullanılan katı malzeme ve demiryolu geçitlerinde kullanılan malzeme olarak sıralanabilmektedir [101, 107, 108].

Atık Lastiklerin Termoliz (piroliz) ile Değerlendirilmesi

Piroliz, atık lastiklerinden enerji kazanmanın başka bir yol olup elde edilen ürünler farklı alanlarda kullanılabilir. Diğer enerji kazanma yollarıyla karşılaştırıldığında, piroliz yönteminin daha küçük çevresel etkilerinden dolayı daha cazip bir yöntemdir [109]. Piroliz yöntemi bir yanma işlemi değil, oksijensiz ortamda yüksek sıcaklıklar altında malzemelerin termal bozulmasıdır. Böylece daha az azot oksit ve kükürt dioksit oluşur [110]. Ayrıca, pirolizden elde edilen ürünler lastiklerden daha yüksek katma değerlere sahiptir [109].

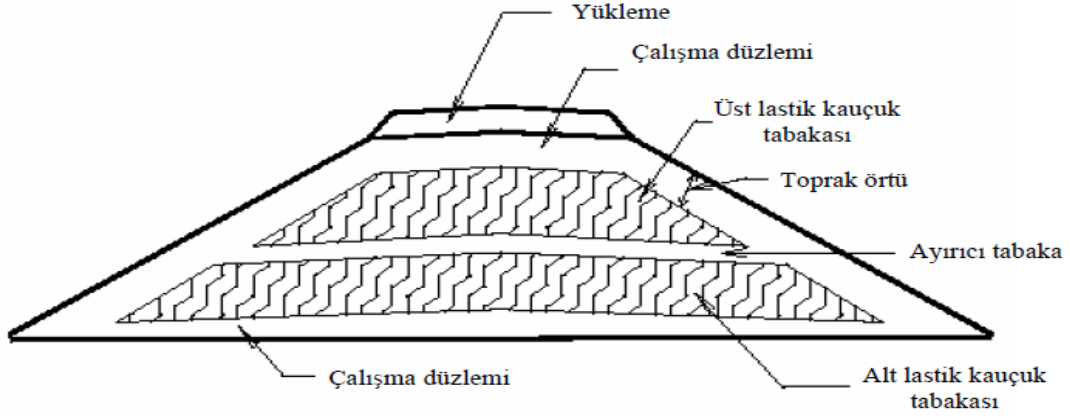
Bu ürünler, gaz, karbon siyahı, yağ ve çeliktir. Piroliz işlemi tamamlanabilmesi için 290-540 °C arasında bir sıcaklığa ihtiyaç vardır. Piroliz yönteminde bir ton atık lastikten, 148 kg gaz, 330 kg karbon siyahı, 350 kg ısı yağı, 120 kg çelik ve 52 kg diğer ürünler elde etmektedir. Karbon siyahı; otomotive ve lastik sektöründe, baskı ve boya sektöründe, çok kirli suyun ön arıtımında, tekrar kaplama sektöründe, asfalt değiştiricileri ve doldurucular yerine, ve çelik sektöründe tekrar karbollaştırıcı olarak kullanılmaktadır [101].

Atık Lastiklerin Dolgu Malzemesi Olarak Değerlendirilmesi

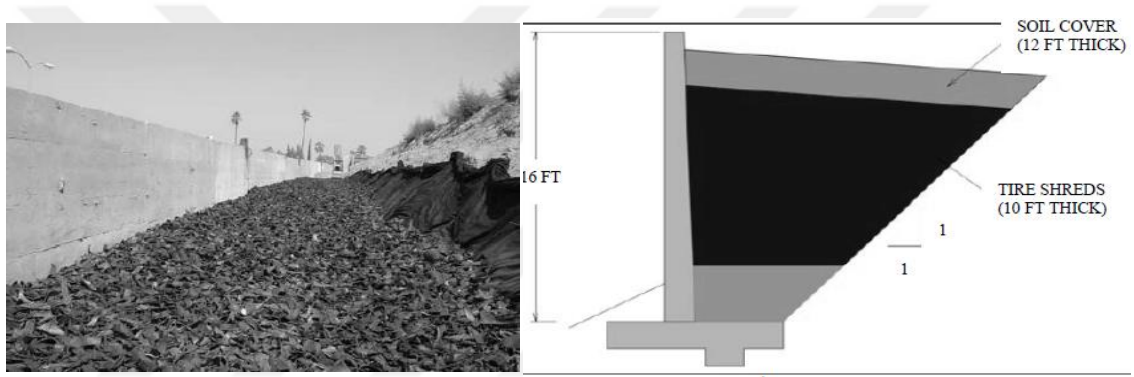
Atık lastiklerin dolgu işlerinde kullanılması, atık lastiklerin bertaraf edilmesinin kolay yollarından biridir. Düşük birim hacim ağırlığından dolayı atık lastikler yapı uygulamalarda hafif agrega olarak kullanılmakta ve istinat duvarlarında, toprak işlerinde dolgu malzemesi olarak değerlendirilmektedir. Atık lastikler zemine göre yaklaşık 8 kat daha iyi ısı yalıtımı ve drenaj kabiliyetine sahiptirler. Birim hacim ağırlıkları ise zeminin 1/3'ü kadardır. Bu konunun daha iyi anlaşılması için Şekil 2.4- Şekil 2.6 verilmiştir [111].



Şekil 2.4. Parçalanmış atık lastiklerinden toprak set oluşturma



Şekil 2.5. Atık lastiklerden oluşan toprak set kesiti [111]



Şekil 2.6. Lastiklerin istinat duvar dolgularında kullanımı [111]

2.6.5. Atık Lastiklerin Betonda Agrega Olarak Kullanılması

Çalışmanın esası olan bu bölümde atık lastik agrega ile üretilmiş çevre dostu betonlar ile ilgili literatür çalışması yapılmış ve lastik agregalı betonların (işlenebilirliği, birim ağırlığı, basınç dayanımı, eğilme dayanımı, yarmada çekme dayanımı, elastisite modülü, rijitlik modülü, aşınma direnci, yorulma süresi, kırılma enerjisi ve tokluğu, çatlak direnci, çarpma dayanımı, gerilme-şekil değiştirme davranışı) özellikleri yapılan çalışmalardan özet şeklinde verilmiştir.

Normal betonun içerisine herhangi bir katkı maddesi eklenmesi betonun özelliklerini değiştirmektedir. Lastik ilavesi de betonun fiziksel, dinamik ve mekanik özelliklerini değiştirmektedir. Özellikle betonda tokluk, süreklilik, rezilyans değerleri ve kırılma yüzey enerjisini artırmaktadır. Bu düşüncelerden yola çıkarak lastik agregalı beton fikri ilk defa Amerika'nın Clemson Üniversitesinde Prof. Rad. [112] tarafından ortaya atılmıştır. Rad yaptığı çalışmalar sonunda lastik agregalı betonlardaki dayanımın, normal beton dayanımının % 35'i kadar düşük değerler bulmuş ve taşıyıcı özelliğin aranmadığı yerlerde bu betonların kullanılabileceğini belirtmiştir.

İşlenebilirlik (taze beton)

İşlenebilirlik, betonun nihai dayanımı üzerine büyük etkisi olan taze betonun en önemli bir özelliğidir. Bu özellik büyük ölçüde beton karışımında kullanılan hammaddelerinin özelliklerine bağlıdır. Lastik agregalı betonların işlenebilirliği lastik içeriğindeki artışla azalmaktadır [113-115]. Ancak çeşitli çalışmalarda lastik parçacık boyutu etkisi hakkında çelişkili sonuçlar verilmiştir.

Parçacıkların yüzey alanındaki artış sebebiyle lastikli betonların işlenebilirliği lastik parçacık boyutundaki azalma ile düşmektedir. Lastiğin öğütülmesi de betonun işlenebilirliğini önemli derecede etkiler. Mekanik olarak öğütülmüş lastik agregaları daha yüksek yüzey alanı ve pürüzlülüğe sahiptir. Böylece kriyojenik öğütülmüş lastiğe göre daha düşük çökme değerleri göstermektedir [114, 116]. Lastik agregalı betonlarının bu sorununu gidermek için, Kashani ve arkadaşları H₂SO₄ çözeltisinde işlenmiş olan lastik parçacıkları betonda kullanılmış ve işlenmemiş lastik parçacıklarına göre daha iyi sonuç elde etmişlerdir [117]. Bu yanında bir diğer çözüm ise uygun miktarda süper akışkanlaştırıcı kullanımı lastik agregalı betonların düşük olan işlenebilirliği geliştirebilmektedir. Ancak lastik içeriğindeki artışla gerekli SA miktarı da artmaktadır [118].

Birim Hacim Ağırlığı (sertleşmiş beton)

Birim ağırlığı düşük olan veya hafif betonlar, yapının ölü yükünün azalmasına yardımcı olur ve böylece yapı elemanların boyutunu ve toplam inşaat maliyetini azaltır. Lastik kauçuğunun ortalama özgül ağırlığı 0.6-1.15 arasında değişmektedir [115, 119] ve ortalama özgül ağırlığı 2.65 olan normal agregalardan önemli ölçüde düşüktür [119-121]. Sonuç olarak, yapılan çalışmalara göre lastik agregalı betonların birim hacim ağırlığı, lastik agrega miktarındaki artışa bağlı olarak düşmektedir [113, 122, 123].

Basınç Dayanımı

Betonun basınç dayanımı, inşaat sektöründe dikkate alınan en önemli özelliklerden biridir. Herhangi bir yeni beton karışımı, yapı elemanlar için gerekli olan minimum basınç dayanımı sağlamalıdır. Geleneksel agregaya ile kısmen yer değiştiren lastik agregaya, betonun basınç dayanımı üzerinde olumsuz etki yapmaktadır. Lastik agregaya miktarındaki artışa bağlı olarak betonun basınç dayanımı düşmektedir. Ek olarak, lastik agreganın boyutu dayanımı özelliklerini etkilemede önemli bir rol oynamaktadır. Lastik agregalı betonların basınç dayanımı lastik agregaya boyutundaki artışla azalmaktadır [113-115, 124-126].

Lastik oranının artışıyla betonun dayanımındaki azalmalar üç ana nedenden kaynaklanmaktadır: Bir, lastik parçacıkların çevreleyen çimento mikro yapısına göre deforme olması, geleneksel betonlardaki hava boşluklarına benzer bir şekilde çatlak başlanmasına neden olmaktadır. İki, lastik parçacıkları ile çimento matrisi arasındaki yüzeyler arası zayıf bağ olmasıdır.

Üç, buna bağlı olarak beton matris yoğunluğunda olası bir azalma, betondaki kullanılan agregaların boyutuna, yoğunluğuna ve sertliğine bağlıdır [114, 127, 128]. Yapılan çalışmaların çoğunda, lastik oranı ve boyutu artıkça betonun basınç dayanımındaki azalmalar artış gösterilmiştir. Ancak, çalışmalardan birinde bu sonuçlara çelişkili bir sonuç gösterilmiştir [129].

Lastik, zayıf bir doğal mukavemete ve zayıf bir bağ performansına sahiptir. Bu nedenle lastik agreganın betondaki özelliklerini geliştirmek için çok sayıda, lastik ön iyileştirme yöntemi ile ilgili çalışmalar yapılmıştır. Najim Ve Hall, lastik parçacıkları su ile yıkanmış, çimento ile ön kaplamalı (cement pre-coated), harç ile ön kaplamalı (mortar pre-coated) ve NaOH ile ön işlenmiş (NaOH pre-treated) şekillerinde kullanılmış ve betonun basınç dayanımı üzerindeki etkisini karşılaştırmışlar. Bütün bu iyileştirme yöntemlerini, lastikli agregalı betonun basınç dayanımını çeşitli derecelerde arttırmıştır. Su ile yıkanmış ve NaOH ile ön işlemden geçirilmiş lastik parçacıklar, sırasıyla %4,7 ve %3,1 gibi çok küçük bir iyileşme sağlamıştır. Çimento ve harç ile önceden kaplanmış lastik parçacıkları ise sırasıyla %15,6 ve %40,6 oranda önemli iyileşme sağlamıştır [130].

Abd-Elaal ve arkadaşların yaptığı çalışmasında, 0.6, 1-3, ve 2-5 mm'lik farklı boyutlarda lastik parçacıkları 200°C sıcaklıkta 1 saat süreyle ısıtılmış ve daha sonra hacimce %20 oranıyla kum yerine betonda kullanılmış ve bu ısıl işlemin betonun dayanımı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Bu işlemler sonucunda, ısıl işlem görmüş 0.6 ve 1-3 mm boyutundaki lastik parçacıkları, sırasıyla %28 ve %17,7 oranda bir iyileşme göstermiştir. Ancak, ısıl işlem görmüş 2-5 mm boyutundaki lastik parçacıkları kullanılmış lastikli betonların 28 günlük basınç dayanımında önemli bir artış görülmemiştir. Ayrıcı ısıl işlem görmüş 2-5 mm boyutundaki lastik parçacıkları kullanılmış lastikli betonların 28 günlük basınç dayanımında, lastik boyutundaki artışla erken yaştaki basınç dayanımına göre azalmalar görülmüştür [131].

Eğilme Dayanımı

Basınç dayanımından sonra betonun önemli özelliklerinden biri eğilme dayanımıdır ve basınç dayanımına göre çok daha küçük değerlere sahiptir. Atık lastik agregalı betonların eğilme dayanımı ile ilgili birçok çalışmalar yapılmıştır. Khatib ve Bayomi, lastik agreganın, betonun eğilme dayanımı üzerindeki etkisini araştırmak için beton içine >2.5 mm ve 10-50 mm boyutlarına sahip lastik agregayı kullanmışlar. Lastik agregaya boyutuna bakılmaksızın lastik muhtevastaki artışla eğilme mukavemetinin azaldığı görülmüştür. Ayrıca lastikli betonda lastik içermeyen kontrol betonlara göre çok daha yüksek sehim olduğu fark edilmiştir. Bununla birlikte, lastiğın ince agregaya olarak kullanıldığı beton numuneleri, lastiğın kaba agregaya olarak kullanıldığı beton numunelerine göre daha yüksek eğilme dayanımı değerleri verilmiştir. Ancak eğilme dayanımındaki bu farklılık, lastik içeriğindeki artış ile azalmıştır [114].

Najim ve Hall'in yaptıkları çalışmada, betonda kullanılmadan önce yıkanmış lastik parçacıklı betonların, yıkanmamış lastik parçacıklı betonlara kıyasla eğilme dayanımında hafif artışlar görülmüştür. Bu çalışmada ayrıca, lastik parçacıklarının çimento macunu ve harç ile önceden kaplanması ve lastik parçacıklarının doymuş NaOH çözeltisi ile ön iyileşme yöntemlerini incelenmiştir. Çimento hamuru ve harç ile önceden kaplanmış lastik parçacıklarının, bu işleme tabi tutulmamış lastikli betona göre betonun eğilme dayanımını sırasıyla %7 ve %10,5 oranında arttırdığı görülmüştür. Bununla birlikte, 20 dakika NaOH'a doymuş çözeltisinde bekletilen ve daha sonra su ile yıkanan lastik parçacıkları kullanıldığı betonlar, bu işlemi görmemiş lastik parçacıkları kullanıldığı betonlarına göre %6,7 oranında daha düşük bir eğilme dayanımı değerleri verilmiştir [130].

Yarmada Çekme Dayanımı

Yarmada çekme dayanımı betonun en önemli özelliklerinden biridir, çünkü beton elemanların çatlayabileceği yükün tespit edilmesine ve bazı durumlarda yapısal bir elemanın çatlaksız bir bölüm olarak tasarlanmasına yardımcı olur. Eldin ve Senouci'in yaptıkları bir çalışmada, 2, 4-6, 19, 25, 38 mm boyutundaki ve hacimce %0, 25, 50, 75, ve 100 kaba ve ince agregaya yerine kullanılan lastik agreganın betonun yarmada çekme dayanımının üzerindeki etkisi incelenmiştir. İçinde kaba agregaya olarak %25 oranında kullanılan lastik agregalı betonların 28 günlük yarma dayanımında %36 oranda bir düşüş görülmüş ve bu düşüş kaba lastik agregaya oranının %100 olduğunda %75 oluşmuştur. İnce lastik agregalı betonlar da aynı davranış göstermiş, ancak ince lastik agreganın 28 günlük basınç üzerindeki olumsuz etkisi, kaba lastik agregaya göre daha az olmaktadır. İçinde ince agregaya olarak %25 oranında kullanılan lastik agregalı betonların, 28 günlük yarma dayanımında %19 oranda bir düşüş görülmüş ve bu düşüş ince lastik agregaya oranının %100 olduğunda %49 oluşmuştur [132]. Topçu tarafından yapılan çalışmada da lastik agregalı betonların yarma dayanımındaki düşüşlerin benzer olduğu görülmüştür [133].

Li ve diğerlerin yaptığı çalışmada, lastik agregaya boyutu ve lastik ilavesi yüzdesinin, lastikli betonun elastisite modülü üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Çalışma sonucu, elastisite modülünün lastik parçacık boyutundaki artışla arttığı ve lastik içeriğindeki artışla azaldığı gözlenmiştir [123]. Lastik içeriğindeki artışla elastisite modülünün azaltılması ile ilgili benzer gözlemlere Atahan ve Yücel [134] ve Li ve ark. [135] yaptıkları çalışmalarda rastlanabilmektedir.

Yukarıdaki verilen çalışmalara bezer bir diğer çalışmada, boyutu 2.6 mm ve 15-36 mm ve beton içinde hacimce %15, %30 ve %45 oranlarda kullanılan lastik agregaya içeriğinin etkisi incelenmiştir. Çalışma sonucunda betonun hem statik hem de dinamik elastik modüllerinin azaldığı gözlemlenmiştir. Ancak, lastik içeriğindeki artışla birlikte dinamik elastik modülü, tüm değiştirme oranlarında statik modülünden önemli bir ölçüde yüksek olduğu görülmüştür. Lastik agregaya

boyutunun elastisite modülü üzerindeki etkisi, lastiğin %15 oranında ilavesinde görülmüştür. İnce lastik ağıraları içeren betonlarda, kaba lastik ağıraları içeren betonlara göre hem statik hem de dinamik elastik modüllerinde ortalama %17,2 artış gözlenmiştir. Ancak, daha yüksek lastik ikame seviyelerinde, lastik parçacık boyutunun hem statik hem de dinamik elastik modüller üzerindeki etkisinde önemli bir fark görülmemiştir [136].

Yorulma Süresi

Lastik ağıralı betonların yorulma süresi (yük altında yorulma süresi) ile ilgili yapılan bir çalışmada, 2 mm boyutunda ve ince ağıra yerine %0, %5, %10 ve %15 oranlarında lastik içeren lastikli betonun yorulma performansı incelenmiştir. Yorulma süresi belirlenmek için 150x150x550 mm'lik bir kiriş beton numunesi kullanılmış ve mesnetler arası mesafesi 400 mm olarak ayarlanarak üç noktalı eğilme testi yapılmıştır. Beton karışım oranları, lastik ağıra çapı, çimento dozajı ve su/ç oranı sırasıyla 2 mm, 420 kg/m³ ve 0,31 olarak verilmiştir. Betonun yorulma süresinin lastik içeriğindeki artışla arttığı ve yük seviyesindeki artışla azaldığı bulunmuştur. Bununla birlikte, tüm yük seviyelerinde, lastikli beton, lastik içeriğindeki artışla birlikte kontrol betona göre daha iyi performans göstermiştir. Ayrıca, lastik ağıralı betonun, dış yüklere maruz kaldığında yapabildiği deformasyon ile enerjiyi emebileceği, bunun da betonda iç çatlak yayılma olasılığını azaltabildiği, böylece gerilme enerjisini emdiği ve sonuç olarak çatlakların tüm hacme yayılmasını önlediği açıklanmıştır [137].

Çarpma Direnci

Betonun çarpmaya karşı direnci birçok alanda ön plana çıkmaktadır. Lastik ağıralı betonların çarpma direnci araştıran bir çalışmada, üretilmiş lastik ağıralı betonların, lastik içeriğindeki artış ile (%0-50) maksimum %50 seviyesine kadar çarpmaya karşı direnci artmıştır. Lastik içeriğinde %50'den sonraki artışlar ile betonun çarpma direnci düşmüştür ve kaba lastik ağıralı betonlar, ince lastik ağıralı betonlarına göre daha iyi bir performans sağlamıştır [115].

3. DENEYSEL ÇALIŞMA

3.1. Materyal

Çalışmanın bu kısmında, tez çalışmasında kullanılan materyaller ve bu materyallerin bazı özellikleri verilmiştir.

3.1.1. Çimento

Bu çalışmada betonun en önemli bileşeni olan çimentonun CEM I 42.5 R tipi kullanılmıştır. Bu çimento Elazığ'da bulunan Çimentaş adlı çimento fabrikasından temin edilmiştir. Çimentaş firma tarafından yapılan analizler sonucunda belirtilen, CEM I 42.5 R tipi çimentonun kimyasal özellikleri Tablo 3.1'de, fiziksel özellikleri Tablo 3.2'de ve mekanik özellikleri ise Tablo 3.3'de verilmiştir.

Tablo 3.1. CEM I 42.5 R çimentonun kimyasal özellikleri

Bileşenler	Bileşen Miktarı	Birim
SiO ₂ (Silisyum dioksit)	19.87	%
Al ₂ O ₃ (Alüminyum oksit)	4.11	%
Fe ₂ O ₃ (Demir oksit)	3.44	%
CaO (Kalsiyum oksit)	63.65	%
MgO (Magnezyum oksit)	1.1	%
SO ₃ (Kükürt trioksit)	2.8	%
Cl (Klorür)	0.009	%
Kızdırma Kaybı	2.7	%
Çözünmeyen Kalıntı	0.2	%

Tablo 3.2. CEM I 42.5 R çimentonun fiziksel özellikleri

Bileşenler	Bileşen Miktarı	Birim
Özgül yüzey (Blaine)	3650	cm ² /gr
Özgül ağırlık	3.1	gr/cm ³
Priz başlangıç	145	dakika
Priz sonu	235	dakika
Hacim sabitliği	0.5	mm

Tablo 3.3. CEM I 42.5 R çimentonun fiziksel özellikleri

Bileşenler	Bileşen Miktarı	Birim
3 Günlük Basınç Dayanımı	28.7	N/mm ²
7 Günlük Basınç Dayanımı	44.4	N/mm ²
28 Günlük Basınç Dayanımı	52.9	N/mm ²

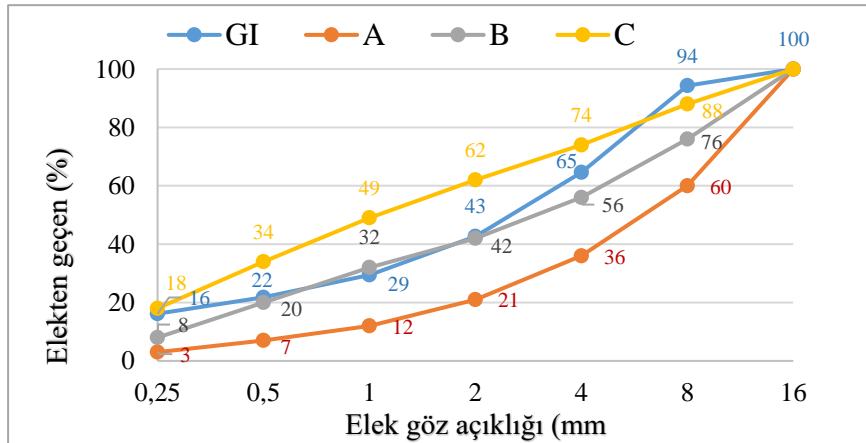
3.1.2. Agregada

Çalışmada TS 706 EN 12620 standardına uygun, Elazığ, Birlik Beton AŞ'den temin edilen kırma taş kalker agregası kullanılmıştır [138]. Kullanılan agregada etüv kurusu olup su emmesi yaklaşık %1.2 ve yoğunluğu 2.68 gr/cm^3 'tür. Bütün deneylerde en büyük tane çapı 16 mm olan ince ve orta agregada şeklinde kullanılmıştır. Şekil 3.1'deki İnce ve orta agregada sırasıyla %65 ve %35, %55 ve %45, ve %45 ve %55 oranlarında kullanılmış ve bu granülometreleri sırası ile GI, GII ve GIII şeklinde adlandırılmıştır.

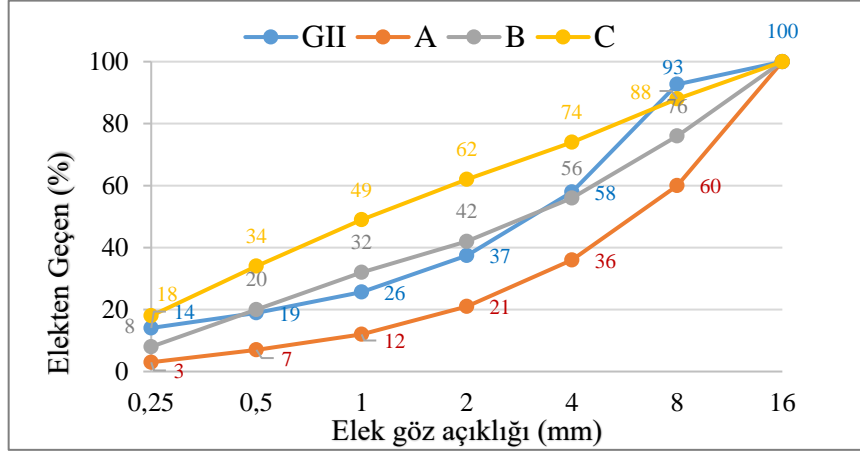


Şekil 3.1. Kullanılan Agregada

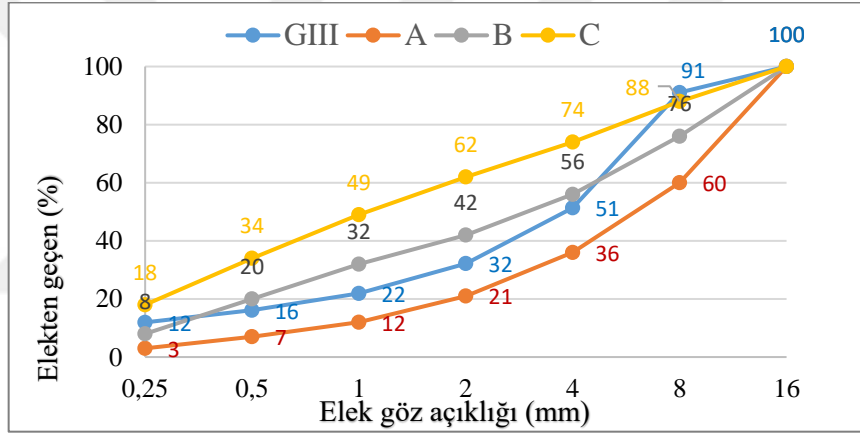
Çalışmaya başlanmadan önce agreganın GI, GII ve GIII'ünün elek analizleri yapılmış ve standart agregada granülometri eğrisine uygun olduğu görülmüştür [139]. GI, GII ve GIII'ün eğrileri, D_{\max} 16 mm olan standart granülometri eğrisi ile beraber Şekil 3.2, Şekil 3.3 ve Şekil 3.4'te verilmiştir.



Şekil 3.2. En büyük tane büyüklüğü 16,0 mm olan agregada tane dağılımı eğrisine ait sınırlar (A, B ve C) ve GI eğrisi



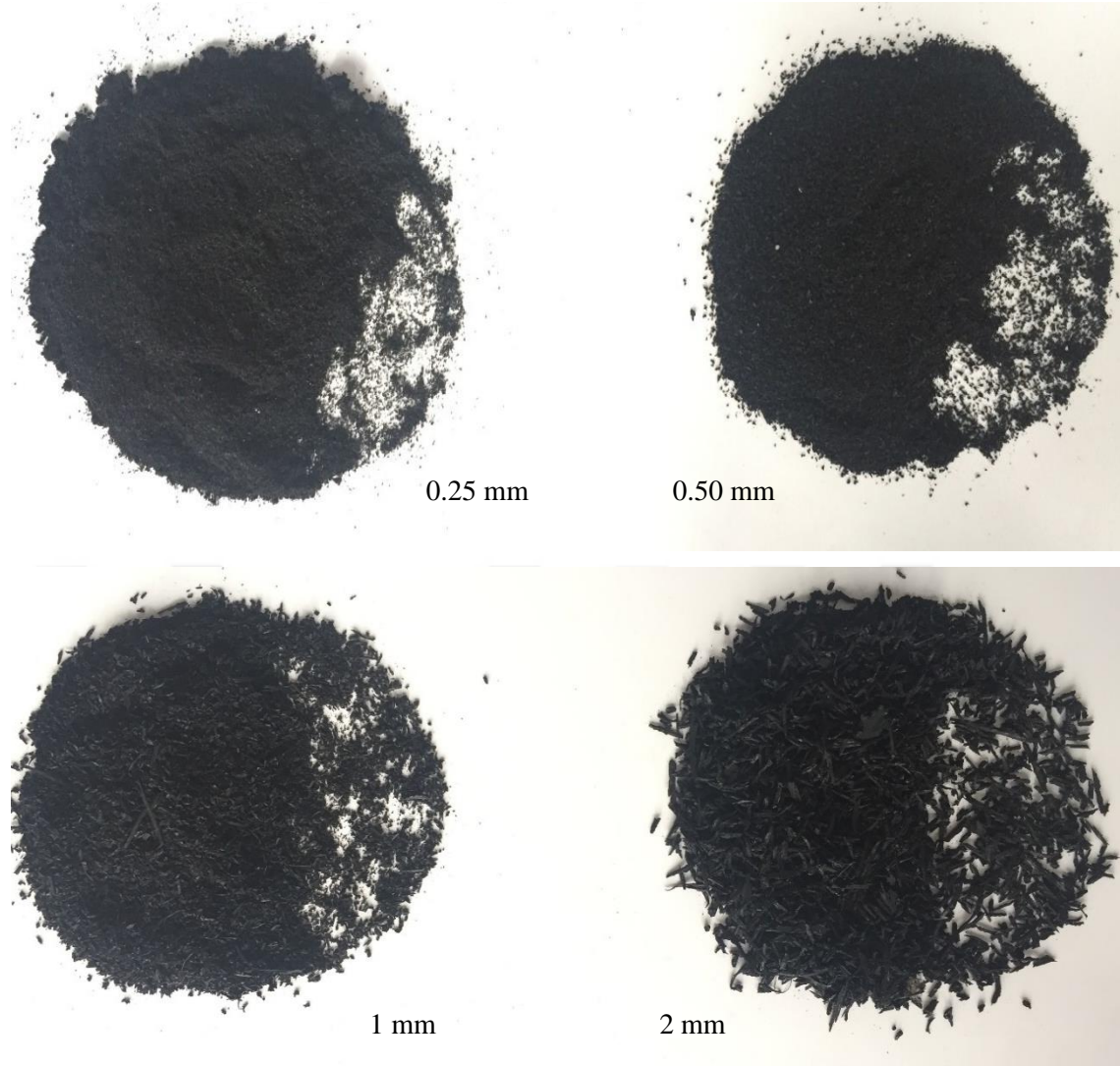
Şekil 3.3. En büyük tane büyüklüğü 16,0 mm olan agregaya tane dağılımı eğrisine ait sınırlar (A, B ve C) ve GII eğrisi



Şekil 3.4. En büyük tane büyüklüğü 16,0 mm olan agregaya tane dağılımı eğrisine ait sınırlar (A, B ve C) ve III eğrisi

3.1.3. Atık Lastik

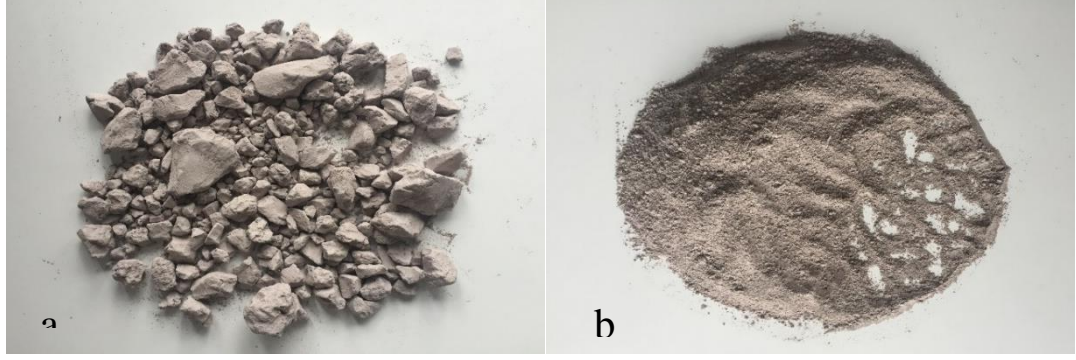
Bu çalışmada, FÜ Mühendislik Fakültesinin Yapı Malzeme Laboratuvarının imkânları ile temin edilen farklı granülemetriye sahip, lastiklerin tekrar kaplama sırasında meydana gelen atık lastik parçacıklarının öğütülmesiyle elde edilen atık lastik agregası kullanılmıştır. Özgür ağırlığı 1.22 gr/cm^3 ve 0.25, 0.50, 1 ve 2 mm boyutuna sahip lastik agregası sırasıyla %18, %24, %50 ve %8 oranlarında karıştırılarak kullanılmıştır. Lastik agregası betonda hacimce toplam karışımın (1000 dm^3) %0, %1 ve %3 oranlarında toplam agregası ile yer değiştirerek kullanılmıştır. Kullanılan atık lastik agregasının görünüşleri Şekil 3.5'te verilmiştir.



Şekil 3.5. Kullanılan Atık Lastik Agregası

3.1.4. Atık Mermer Tozu

Atık lastik agregasının, beton özelliklerinin üzerindeki olumsuz etkileri azaltmak için atık mermer tozu mineral katkı olarak kullanılmıştır. Atık mermer tozu, Elâzığ Organize Sanayi Katı Atık Sahasından mermer çamuru temin edilip ve açık havada kurutulmuştur ve daha sonra Şekil 3.6'daki gibi iri taneli kurutulmuş olan mermer çamuru Los Angeles aşınma cihazında öğütülerek elde edilmiştir.



Şekil 3.6. a) Öğütülmemiş mermer atığı b) Atık mermer tozu

Atık mermer tozu, atık lastik agregalı betonda hacimce toplam karışımın (1000 dm^3) %2 ve %4 oranlarında toplam agrega ile yer değiştirerek kullanılmıştır. Beton karışımlarında Elâzığ iline ait olan vişne mermere ait atık mermer tozu kullanılmış ve bu atık mermer tozunun kimyasal ve fiziksel özellikleri Tablo 3.4’de verilmiştir [140].

Tablo 3.4. Atık mermer tozunun kimyasal ve fiziksel özellikleri

Bileşenler	Bileşen Miktarı	Birim
Özgül yüzey (Blaine)	3924	cm^2/gr
Özgül ağırlık	2.71	gr/cm^3
CaO	40.45	%
SiO ₂	28.35	%
MgO	16.25	%
Fe ₂ O ₃	9.7	%

3.1.5. Kimyasal Katkı

Çalışmada kimyasal katkı olarak Chyrso Fluid Optima 284 süper akışkanlaştırıcı kullanılmıştır. Bu yeni nesil polikarboksilat bazlı bir süper akışkanlaştırıcı tipidir her mevsimde kullanılabilmekte ve özellikle düşük su/çimento oranına sahip, kıvam koruyan, yüksek erken ve nihai dayanım istenen betonlar için elverişlidir. Teknik özellikleri Tablo 3.5’te verilmiştir.

Tablo 3.5. Süper akışkanlaştırıcının teknik özellikleri

Bileşenler	Tanım, Bileşen Miktarı	Birim
pH	5	-
Özgül Ağırlık	$1,085 \pm 0,02$	gr/cm^3
Görünüm	Sıvı	-
Renk	Kahverengi	-
Klorür İçeriği	< 0.1	%
Raf Ömrü	12	ay

3.1.6. Karışım Suyu

Beton karışımının en önemli bileşenlerden biri de sudur. Çalışmada TS EN 1008 (2003)'e uygun olan Elâzığ, şehir şebeke suyundan istifade edilmiştir [141].

3.2. Numune Hazırlama

Bu tez çalışmasında, hacimce toplam karışımın (1000 dm³) %0, %1 ve %3 atık lastik agregaya toplam normal agregaya ile yer değiştirmiştir. Lastik agregalı betonların zayıf dayanım ve dayanıklılık özellikleri geliştirilmesi için betonda mineral katkı olarak atık mermer tozu kullanılmıştır. Atık lastik agregaya ve atık mermer tozu şu şekilde beraber kullanılmıştır; lastik agregaya %0 iken atık mermer tozu %0 (referans), lastik agregaya %1 iken atık mermer tozu %0, %2 ve %4, ve lastik agregaya %3 iken atık mermer tozu %0, %2 ve %4 oranlarında kullanılarak beton numuneleri hazırlanmıştır. Beton numunelerinin hazırlanması için, ilk önce karışım oranlarına göre karışım bileşenleri özenle tartılmış ve daha sonra su ve kimyasal katkı dışında bütün beton bileşenleri miksera atılmış, 30 saniye karıştırılmasından sonra içine kimyasal katkı eklenen su ilave edilmiş ve 3-5 dakika bir süre boyunca mikserle karıştırılmaya devam edilmiştir.

Çalışmada, birim hacim ağırlığı, geri sıçrama değerinin tayini, ultrases geçiş hızı tayini, basınç dayanımı ve yarma dayanımı deneyi için 150x150x150 mm'lik küp, permeabilite ve yine basınç dayanımı için 100x100x100'lik küp olmak üzere iki çeşit kalıp kullanılmıştır. Beton numuneleri yöntemine uygun olarak kalıplara yerleştirilmiş ve 24 saat oda sıcaklığında bekletilmiş, sertleştikten sonra kalıplardan çıkarılıp laboratuvarımızda bulunan kirece doymuş su havuzlarında deney yapıldığı güne kadar bekletilmiştir.

Çalışmada, toplam 42 beton seri hazırlanmış ve her seride 8 tanesi 150 mm'lik küp ve 2 tanesi 100 mm'lik küp olmak üzere toplam 10 tane beton numune bulunmaktadır. 150 mm'lik beton numunelerinden 2 tanesi, 3 günlük beton test çekici deneyi, daha sonra ultrases geçiş hızı tayini deneyi ve daha sonra aynı beton numuneler basınç dayanım deneyinde kullanılmıştır. Aynı şekilde 2'şer tane 7 ve 28 günlük deneyler için kullanılmıştır. Diğer 2 tane 150 mm'lik küp beton numuneleri ise 28 günlük yarmada çekme dayanımı deneyinde kullanılmıştır. 100 mm'lik küp beton numunelerinden birer tane olmak üzere 28 günlük betonun permeabilite ve basınç dayanımı deneylerinde kullanılmıştır.

3.2.1. Beton Seri Kodlaması

Hazırlanan beton seri kodlanması, çimento dozajı, atık lastik agregaya oranı ve atık mermer tozu oranına göre aşağıdaki şekilde yapılmıştır.

Ç350-L0-MT0 = Çimento dozajı 350, atık lastik agregaya oranı %0 ve atık mermer tozu oranı %0.

Ç350-L1-MT0 = Çimento dozajı 350, atık lastik agregaya oranı %1 ve atık mermer tozu oranı %0.

- Ç350-L1-MT2 = Çimento dozajı 350, atık lastik agrega oranı %1 ve atık mermer tozu oranı %2.
 Ç350-L1-MT4 = Çimento dozajı 350, atık lastik agrega oranı %1 ve atık mermer tozu oranı %4.
 Ç350-L3-MT0 = Çimento dozajı 350, atık lastik agrega oranı %3 ve atık mermer tozu oranı %0.
 Ç350-L3-MT2 = Çimento dozajı 350, atık lastik agrega oranı %3 ve atık mermer tozu oranı %2.
 Ç350-L3-MT4 = Çimento dozajı 350, atık lastik agrega oranı %3 ve atık mermer tozu oranı %4.

3.2.2. Beton Karışım Hesabı

Beton karışımında, 350 kg/m³ ve 425 kg/m³ olmak üzere iki farklı çimento dozajı kullanılmıştır. Su/ çimento oranı 0,55 olarak sabit tutulmuştur. Normal agrega olarak GI (%65 ince ve %35 orta), GII (%55 ince ve %45 orta) ve GIII (%45 ince ve %55 orta) olmak üzere üç farklı granülometri kullanılmıştır. Atık lastik agrega, hacimce toplam karışımın %0, %1 ve %3 oranlarında toplam agrega yerine kullanılmıştır. Atık mermer tozu da hacimce toplam karışımın %0, %2 ve %4 oranlarında toplam agrega yerine kullanılmıştır. Kimyasal katkı çimento ağırlığının %1,2 oranında sabit tutularak kullanılmıştır. Çimento dozajı 350 kg/m³ olan karışım oranları Tablo 3.6'da ve çimento dozajı 425 kg/m³ olan karışım oranları Tablo 3.7'de verilmiştir.

Tablo 3.6. 1 m³ beton için hesaplanan karışım oranları ve miktarları

Seri NO	Seri Adı	Çimento (kg)	S/Ç	H (%)	KK (%)	Lastik (kg)	MT (kg)	İnce (kg)	Orta (kg)	Granülometri
1	Ç350-L0-MT0	350	0.55	2	1.2	0.0	0.0	1175.1	632.8	GI
2	Ç350-L1-MT0	350	0.55	2	1.2	12.2	0.0	1157.7	623.4	GI
3	Ç350-L1-MT2	350	0.55	2	1.2	12.2	54.2	1122.9	604.6	GI
4	Ç350-L1-MT4	350	0.55	2	1.2	12.2	108.4	1088.0	585.9	GI
5	Ç350-L3-MT0	350	0.55	2	1.2	36.6	0.0	1122.9	604.6	GI
6	Ç350-L3-MT2	350	0.55	2	1.2	36.6	54.2	1088.0	585.9	GI
7	Ç350-L3-MT4	350	0.55	2	1.2	36.6	108.4	1053.2	567.1	GI
8	Ç350-L0-MT0	350	0.55	2	1.2	0.0	0.0	994.4	813.6	GII
9	Ç350-L1-MT0	350	0.55	2	1.2	12.2	0.0	979.6	801.5	GII
10	Ç350-L1-MT2	350	0.55	2	1.2	12.2	54.2	950.1	777.4	GII
11	Ç350-L1-MT4	350	0.55	2	1.2	12.2	108.4	920.7	753.3	GII
12	Ç350-L3-MT0	350	0.55	2	1.2	36.6	0.0	950.1	777.4	GII
13	Ç350-L3-MT2	350	0.55	2	1.2	36.6	54.2	920.7	753.3	GII
14	Ç350-L3-MT4	350	0.55	2	1.2	36.6	108.4	891.2	729.1	GII
15	Ç350-L0-MT0	350	0.55	2	1.2	0.0	0.0	813.6	994.4	GIII
16	Ç350-L1-MT0	350	0.55	2	1.2	12.2	0.0	801.5	979.6	GIII
17	Ç350-L1-MT2	350	0.55	2	1.2	12.2	54.2	777.4	950.1	GIII
18	Ç350-L1-MT4	350	0.55	2	1.2	12.2	108.4	753.3	920.7	GIII
19	Ç350-L3-MT0	350	0.55	2	1.2	36.6	0.0	777.4	950.1	GIII
20	Ç350-L3-MT2	350	0.55	2	1.2	36.6	54.2	753.3	920.7	GIII
21	Ç350-L3-MT4	350	0.55	2	1.2	36.6	108.4	729.1	891.2	GIII

Tablo 3.7. 1 m³ beton için hesaplanan karışım oranları ve miktarları

Seri NO	Seri Adı	Çimento (kg)	S/Ç oranı	H (%)	KK (%)	Lastik (kg)	MT (kg)	İnce (kg)	Orta (kg)	Granülometri
22	Ç425-L0-MT0	425	0.55	2	1.2	0.0	0.0	1061.1	571.4	GI
23	Ç425-L1-MT0	425	0.55	2	1.2	12.2	0.0	1043.7	562.0	GI
24	Ç425-L1-MT2	425	0.55	2	1.2	12.2	54.2	1008.9	543.2	GI
25	Ç425-L1-MT4	425	0.55	2	1.2	12.2	108.4	974.0	524.5	GI
26	Ç425-L3-MT0	425	0.55	2	1.2	36.6	0.0	1008.9	543.2	GI
27	Ç425-L3-MT2	425	0.55	2	1.2	36.6	54.2	974.0	524.5	GI
28	Ç425-L3-MT4	425	0.55	2	1.2	36.6	108.4	939.2	505.7	GI
29	Ç425-L0-MT0	425	0.55	2	1.2	0.0	0.0	897.9	734.6	GII
30	Ç425-L1-MT0	425	0.55	2	1.2	12.2	0.0	883.2	722.6	GII
31	Ç425-L1-MT2	425	0.55	2	1.2	12.2	54.2	853.7	698.5	GII
32	Ç425-L1-MT4	425	0.55	2	1.2	12.2	108.4	824.2	674.3	GII
33	Ç425-L3-MT0	425	0.55	2	1.2	36.6	0.0	853.7	698.5	GII
34	Ç425-L3-MT2	425	0.55	2	1.2	36.6	54.2	824.2	674.3	GII
35	Ç425-L3-MT4	425	0.55	2	1.2	36.6	108.4	794.7	650.2	GII
36	Ç425-L0-MT0	425	0.55	2	1.2	0.0	0.0	734.6	897.9	GIII
37	Ç425-L1-MT0	425	0.55	2	1.2	12.2	0.0	722.6	883.2	GIII
38	Ç425-L1-MT2	425	0.55	2	1.2	12.2	54.2	698.5	853.7	GIII
39	Ç425-L1-MT4	425	0.55	2	1.2	12.2	108.4	674.3	824.2	GIII
40	Ç425-L3-MT0	425	0.55	2	1.2	36.6	0.0	698.5	853.7	GIII
41	Ç425-L3-MT2	425	0.55	2	1.2	36.6	54.2	674.3	824.2	GIII
42	Ç425-L3-MT4	425	0.55	2	1.2	36.6	108.4	650.2	794.7	GIII

3.3. Deney Metodu

Bu deneysel çalışmada atık lastik ile üretilmiş çevre dostu betonlarda agrega granülometrisinin dayanım özellikleri üzerine etkisini incelemek için, taze beton deneyleri (çökme deneyi, birim hacim ağırlığı) ve sertleşmiş beton deneyleri (birim hacim ağırlığı, geri sıçrama değerinin tayini, ultrases geçiş hızı tayini, basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı ve kılcallık deneyi) üretilen beton numunelerinin üzerine yapılmıştır.

3.3.1. Çökme Deneyi (Taze Beton)

Atık lastik agregalı betonların işlenebilirliği hakkında bilgi almak için üretilen bütün serilerin TS EN 12350-2 standardına uygun şekilde çökme (slump) deneyi yapılmıştır. Bu deneyi için metalden yapılmış alt tabanının çapı 20 cm ,üst yüzünün çapı 10 cm açık olan kesik koni şeklinde, üst tarafta karşılıklı iki kulp ve altı tarafta ayak basmak için karşılıklı iki adet metal çıkıntısı bulunan bir huni, huni başlığı, çapı 1.6 cm olan metal şişleme çubuğu, beton numunesi doldurmak için bakal küreği, çelik mala ve metel taban (geniş kap) ve bir cetvel aparat olarak kullanılmaktadır. Deneyi gerçekleştirmek için, ilk önce slump hunisinin içi nemli bir bez ile silinir ve su emmez bir yüzey veya metel taban üzerine sabitlenmektedir. Daha sonra beton numunesi homojen bir şekilde bakal küreği ile üç tabakada slump hunisine yerleştirilmekte ve her tabakada yerleştirilen beton numunesi yirmibeşer kez şişlenmektedir. En üst beton tabakasının şişleme işleminden sonra mala ile huni üst

yüzeyi düzeltilmekte ve beklemeden slump hunisi yukarıya doğru yavaşça çekildikten sonra hemen boş huni çökmesini yapmış olan beton numunesinin yanına konularak şişleme çubuğu huninin üzerine yatay olarak bırakılmakta ve daha sonra beton yığının üst kısmından şişleme çubuğunun alt yüzeyine olan mesafe cetvel yardımıyla ölçülmektedir [142]. Bu ölçülen değer betonun slump (çökme) değeri olarak ifade edilmektedir. Çökme değerlerine göre betonun kıvam sınıflandırılması Tablo 3.8’de verilmiştir. Yapılan deneylerin çökme değerleri Tablo 3.9’de verilmiştir.

Tablo 3.8. Beton çökme sınıfları (TS EN 206-1)

Çökme Sınıfı	Çökme değeri	Birimi
S1	10 – 40	mm
S2	50 – 90	mm
S3	100 -150	mm
S4	160 – 210	mm
S4	≥ 220	mm

Tablo 3.9. Yapılan deneylerin çökme değerleri

Agrega Karışım Oranı	Seri İsimleri	Çökme Değerleri (cm)	Seri İsimleri	Çökme Değerleri (cm)
GI (%65 İnce-%35 İri)	Ç350-L0- MT0	17	Ç425-L0-MT0	20
	Ç350-L1- MT0	15	Ç425-L1-MT0	17
	Ç350-L1- MT2	19	Ç425-L1-MT2	20
	Ç350-L1- MT4	12	Ç425-L1-MT4	21
	Ç350-L3- MT0	13	Ç425-L3-MT0	16
	Ç350-L3- MT2	16	Ç425-L3-MT2	19
	Ç350-L3- MT4	8	Ç425-L3-MT4	22
GII (%55 İnce-%45 İri)	Ç350-L0- MT0	15	Ç425-L0-MT0	16
	Ç350-L1- MT0	12	Ç425-L1-MT0	16
	Ç350-L1- MT2	14	Ç425-L1-MT2	19
	Ç350-L1- MT4	15	Ç425-L1-MT4	20
	Ç350-L3- MT0	11	Ç425-L3-MT0	18
	Ç350-L3- MT2	12	Ç425-L3-MT2	20
	Ç350-L3- MT4	7	Ç425-L3-MT4	22
GIII (%45 İnce-%55 İri)	Ç350-L0- MT0	12	Ç425-L0-MT0	15
	Ç350-L1- MT0	10	Ç425-L1-MT0	16
	Ç350-L1- MT2	14	Ç425-L1-MT2	19
	Ç350-L1- MT4	17	Ç425-L1-MT4	21
	Ç350-L3- MT0	8	Ç425-L3-MT0	17
	Ç350-L3- MT2	13	Ç425-L3-MT2	20
	Ç350-L3- MT4	15	Ç425-L3-MT4	22

3.3.2. Taze Betonun Birim Hacim Ağırlığı Deneyi

Taze betonun birim hacim ağırlığı deneyi için 150 mm'lik küp kalıpları kullanılmış ve seri için bir adet beton numune üzeri yapılmıştır. Deney için ilk önce 1 gr hassasiyette olan terazi ile boş kalıbın darası alınıp W1 olarak kaydedilir ve hazırlanmış beton numunesi standarda uygun bir şekilde kalıba yerleştirilmektedir. Daha sonra kap+numune tartılır ve W2 olarak kaydedilir ve aşağıdaki Formül ile taze betonun birim hacim ağırlığı hesaplanmaktadır. Yaş birim hacim ağırlık değerleri Tablo 3.10'da verilmiştir.

$$TBBHA = \frac{\text{Betonun Ağırlığı (W2-W1)}}{\text{Kalıbın Hacmi (1.5x1.5x1.5)}} \frac{(\text{kg})}{(\text{dm}^3)} \quad (3.1)$$

Tablo 3.10. Yaş birim hacim ağırlık değerleri

Agrega Karışım Oranı	Seri İsimleri	Birim ağırlık (kg/dm ³)	Seri İsimleri	Birim ağırlık (kg/dm ³)
GI (%65 İnce-%35 İri)	Ç350-L0-MT0	2.406	Ç425-L0-MT0	2.419
	Ç350-L1-MT0	2.335	Ç425-L1-MT0	2.385
	Ç350-L1-MT2	2.381	Ç425-L1-MT2	2.394
	Ç350-L1-MT4	2.426	Ç425-L1-MT4	2.402
	Ç350-L3-MT0	2.287	Ç425-L3-MT0	2.348
	Ç350-L3-MT2	2.301	Ç425-L3-MT2	2.365
	Ç350-L3-MT4	2.359	Ç425-L3-MT4	2.376
GII (%55 İnce-%45 İri)	Ç350-L0-MT0	2.396	Ç425-L0-MT0	2.416
	Ç350-L1-MT0	2.359	Ç425-L1-MT0	2.368
	Ç350-L1-MT2	2.388	Ç425-L1-MT2	2.387
	Ç350-L1-MT4	2.397	Ç425-L1-MT4	2.394
	Ç350-L3-MT0	2.292	Ç425-L3-MT0	2.336
	Ç350-L3-MT2	2.313	Ç425-L3-MT2	2.348
	Ç350-L3-MT4	2.324	Ç425-L3-MT4	2.356
GIII (%45 İnce-%55 İri)	Ç350-L0-MT0	2.384	Ç425-L0-MT0	2.394
	Ç350-L1-MT0	2.376	Ç425-L1-MT0	2.356
	Ç350-L1-MT2	2.385	Ç425-L1-MT2	2.367
	Ç350-L1-MT4	2.394	Ç425-L1-MT4	2.376
	Ç350-L3-MT0	2.34	Ç425-L3-MT0	2.323
	Ç350-L3-MT2	2.356	Ç425-L3-MT2	2.339
	Ç350-L3-MT4	2.368	Ç425-L3-MT4	2.356

3.3.3. Sertleşmiş Betonun Birim Hacim Ağırlığı Deneyi

Bu çalışmada sertleşmiş betonun birim hacim ağırlığı deneyi, her seri için bir numune üzerine yapılmıştır. Deney için hacmi bilenen (150 mm'lik küp) kalıp kullanılmıştır. Hazırlanmış beton numunesi standarda uygun bir şekilde kalıba yerleştirilip oda sıcaklığında 24 saat bekletildikten sonra sertleşmiş beton numunesi kalıptan çıkartılmaktadır. Çıkartılan beton numunesi 1 gr

hassasiyette olan terazi ile tartılır ve W olarak kaydedilir. Sertleşmiş betonun birim hacim ağırlığı aşağıdaki Formül ile hesaplanmaktadır. Kuru birim hacim ağırlık değerleri Tablo 3.11’de verilmiştir.

$$SBBHA = \frac{\text{Betonun Ağırlığı (W)}}{\text{Kalıbın Hacmi (1.5x1.5x1.5)}} \left(\frac{\text{kg}}{\text{dm}^3} \right) \quad (3.2)$$

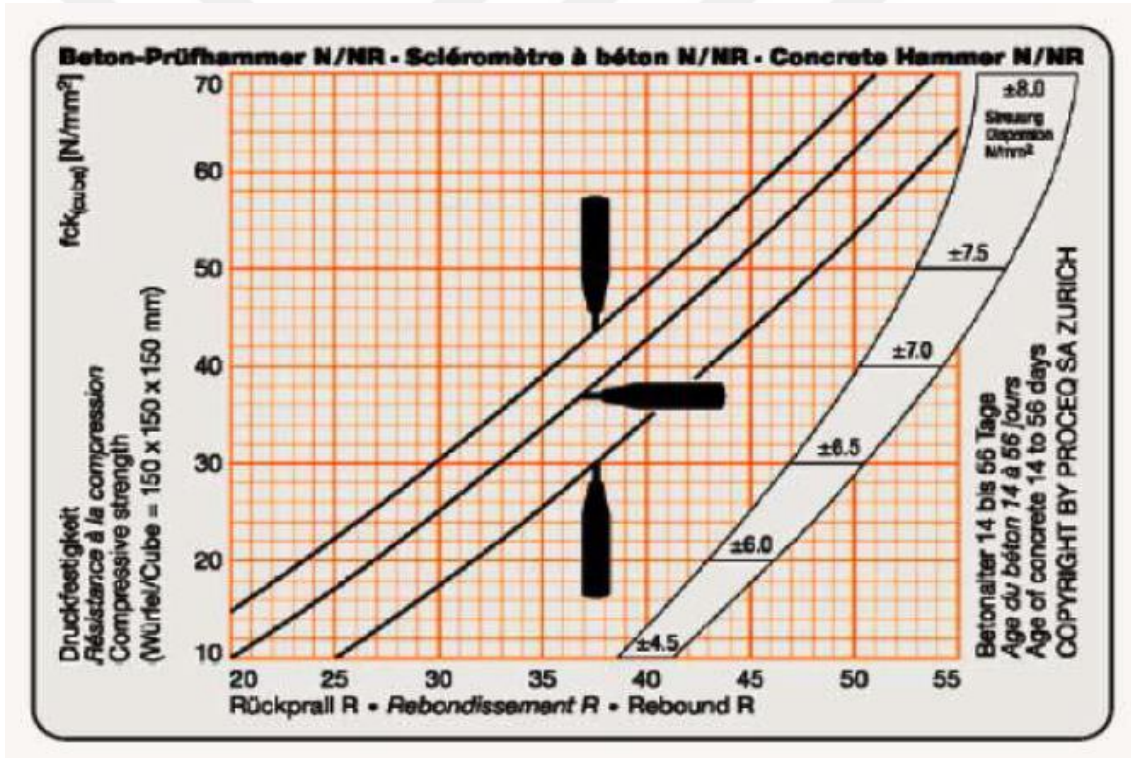
Tablo 3.11. Kuru birim hacim ağırlık değerleri

Agrega Karışım Oranı	Seri İsimleri	Birim ağırlık (kg/dm ³)	Seri İsimleri	Birim ağırlık (kg/dm ³)
GI (%65 İnce-%35 İri)	Ç350-L0-MT0	2.379	Ç425-L0-MT0	2.406
	Ç350-L1-MT0	2.311	Ç425-L1-MT0	2.36
	Ç350-L1-MT2	2.369	Ç425-L1-MT2	2.368
	Ç350-L1-MT4	2.406	Ç425-L1-MT4	2.382
	Ç350-L3-MT0	2.27	Ç425-L3-MT0	2.319
	Ç350-L3-MT2	2.277	Ç425-L3-MT2	2.349
	Ç350-L3-MT4	2.326	Ç425-L3-MT4	2.556
GII (%55 İnce-%45 İri)	Ç350-L0-MT0	2.373	Ç425-L0-MT0	2.394
	Ç350-L1-MT0	2.336	Ç425-L1-MT0	2.354
	Ç350-L1-MT2	2.369	Ç425-L1-MT2	2.369
	Ç350-L1-MT4	2.368	Ç425-L1-MT4	2.376
	Ç350-L3-MT0	2.271	Ç425-L3-MT0	2.324
	Ç350-L3-MT2	2.29	Ç425-L3-MT2	2.333
	Ç350-L3-MT4	2.297	Ç425-L3-MT4	2.336
GIII (%45 İnce-%55 İri)	Ç350-L0-MT0	2.357	Ç425-L0-MT0	2.366
	Ç350-L1-MT0	2.352	Ç425-L1-MT0	2.324
	Ç350-L1-MT2	2.361	Ç425-L1-MT2	2.339
	Ç350-L1-MT4	2.376	Ç425-L1-MT4	2.346
	Ç350-L3-MT0	2.318	Ç425-L3-MT0	2.292
	Ç350-L3-MT2	2.334	Ç425-L3-MT2	2.324
	Ç350-L3-MT4	2.347	Ç425-L3-MT4	2.333

3.3.4. Geri Sıçrama Değerinin Tayini

Betonun geri sıçrama değerinin tayini (betonun test çekici deneyi) her türlü sertleşmiş beton üzerinde yapılabilmekte ve bu deney TS EN 12504-2 standarda göre yapılmaktadır. Bu deney basınç dayanımı deneyi için bir alternatif değildir. Ancak bu metod ile betonun basınç dayanımı tahmin edilebilmektedir. Çalışmada her seri için ikişer numune üzerinde betonun 3, 7 ve 28 günlük geri sıçrama değerleri tayin edilmiştir. Betonun geri sıçrama değerinin tayini için Schmidt çekici

Şekil 3.7'deki gibi üç farklı şekilde sertleşmiş betonun yüzeyine uygulanabilmektedir. Çekiğin ucu denenmesi gereken yüzey dik olacak şekilde tutulur ve çarpma kadar uç üzerine basınç arttırılır. Çarpma gerçekleştikten sonra çekiç üzerindeki R (Rebound) değeri okunur ve kaydedilir. Doğru bir sonucu elde etmek için beton yüzeyine beş altı farklı noktaya uygulanmalıdır. Uygulandığı iki nokta arası en az 25 mm ve beton numune kenarından da en az 25 mm mesafe olmalıdır. Bu çalışmada her serinin ikişer 150 mm'lik küp beton numunesi Şekil 3.8'deki gibi başka bir makinede sabitlenerek numunenin tek yüzeyine beş farklı noktaya yatay olarak uygulanmıştır. İlk başta elde edilen şu beş vuruş değerlerin ortalaması alınmış daha sonra iki numunelerin ortalamalarının ortalaması alınmıştır. Daha sonra bu ortalama değere göre geri sıçramalı çekiç okumasından beton basınç dayanımına geçiş grafiği kullanılarak basınç değeri okunur. [143]. Günlük geri sıçrama deneylerinin değerleri Tablo 3.12,3.13,3.14'te verilmiştir.



Şekil 3.7. Geri sıçramalı çekiç okumasından beton basınç dayanımına geçiş grafiği



Şekil 3.8. Betonun geri sıçrama değerinin tayini deneyi

Tablo 3.12. (3) Günlük geri sıçrama deneylerinin değerleri

Agrega Karışım Oranı	Seri İsimleri	R-Değerleri	Seri İsimleri	R-Değerleri
GI (%65 İnce-%35 İri)	Ç350-L0-MT0	34.5	Ç425-L0-MT0	30.0
	Ç350-L1-MT0	29.0	Ç425-L1-MT0	32.0
	Ç350-L1-MT2	32.5	Ç425-L1-MT2	33.5
	Ç350-L1-MT4	33.0	Ç425-L1-MT4	32.0
	Ç350-L3-MT0	27.5	Ç425-L3-MT0	29.0
	Ç350-L3-MT2	28.0	Ç425-L3-MT2	29.0
	Ç350-L3-MT4	31.0	Ç425-L3-MT4	29.5
GII (%55 İnce-%45 İri)	Ç350-L0-MT0	32.5	Ç425-L0-MT0	33.5
	Ç350-L1-MT0	32.5	Ç425-L1-MT0	26.5
	Ç350-L1-MT2	30.5	Ç425-L1-MT2	28.5
	Ç350-L1-MT4	33.0	Ç425-L1-MT4	32.0
	Ç350-L3-MT0	29.0	Ç425-L3-MT0	27.5
	Ç350-L3-MT2	27.5	Ç425-L3-MT2	29.5
	Ç350-L3-MT4	30.5	Ç425-L3-MT4	31.0
GIII (%45 İnce-%55 İri)	Ç350-L0-MT0	31.5	Ç425-L0-MT0	33.0
	Ç350-L1-MT0	28.5	Ç425-L1-MT0	29.0
	Ç350-L1-MT2	29.5	Ç425-L1-MT2	30.5
	Ç350-L1-MT4	31.5	Ç425-L1-MT4	33.0
	Ç350-L3-MT0	25.5	Ç425-L3-MT0	27.5
	Ç350-L3-MT2	27.5	Ç425-L3-MT2	32.5
	Ç350-L3-MT4	29.5	Ç425-L3-MT4	33.0

Tablo 3.13. (7) Günlük geri sıçrama deneylerinin değerleri

Agrega Karışım Oranı	Seri İsimleri	R-Değerleri	Seri İsimleri	R-Değerleri
GI (%65 İnce-%35 İri)	Ç350-L0-MT0	35.5	Ç425-L0-MT0	34.5
	Ç350-L1-MT0	30.5	Ç425-L1-MT0	33
	Ç350-L1-MT2	33.5	Ç425-L1-MT2	34
	Ç350-L1-MT4	33.5	Ç425-L1-MT4	34
	Ç350-L3-MT0	30	Ç425-L3-MT0	30.5
	Ç350-L3-MT2	31	Ç425-L3-MT2	32.5
	Ç350-L3-MT4	32.5	Ç425-L3-MT4	34
GII (%55 İnce-%45 İri)	Ç350-L0-MT0	35.5	Ç425-L0-MT0	35
	Ç350-L1-MT0	29	Ç425-L1-MT0	31.5
	Ç350-L1-MT2	33	Ç425-L1-MT2	33.5
	Ç350-L1-MT4	34	Ç425-L1-MT4	34
	Ç350-L3-MT0	29	Ç425-L3-MT0	32
	Ç350-L3-MT2	30	Ç425-L3-MT2	33.5
	Ç350-L3-MT4	32.5	Ç425-L3-MT4	32
GIII (%45 İnce-%55 İri)	Ç350-L0-MT0	34.5	Ç425-L0-MT0	36
	Ç350-L1-MT0	31	Ç425-L1-MT0	31
	Ç350-L1-MT2	32	Ç425-L1-MT2	32
	Ç350-L1-MT4	34	Ç425-L1-MT4	34.5
	Ç350-L3-MT0	29	Ç425-L3-MT0	28.5
	Ç350-L3-MT2	29.5	Ç425-L3-MT2	31.5
	Ç350-L3-MT4	31.5	Ç425-L3-MT4	33.5

Tablo 3.14. (28) Günlük geri sıçrama deneylerinin değerleri

Agrega Karışım Oranı	Seri İsimleri	R-Değerleri	Seri İsimleri	R-Değerleri
GI (%65 İnce-%35 İri)	Ç350-L0-MT0	36	Ç425-L0-MT0	34.5
	Ç350-L1-MT0	32.5	Ç425-L1-MT0	33
	Ç350-L1-MT2	35	Ç425-L1-MT2	34
	Ç350-L1-MT4	36	Ç425-L1-MT4	35.5
	Ç350-L3-MT0	32	Ç425-L3-MT0	31.5
	Ç350-L3-MT2	33.5	Ç425-L3-MT2	33
	Ç350-L3-MT4	32.5	Ç425-L3-MT4	34.5
GII (%55 İnce-%45 İri)	Ç350-L0-MT0	36.5	Ç425-L0-MT0	36
	Ç350-L1-MT0	31.5	Ç425-L1-MT0	33
	Ç350-L1-MT2	34.5	Ç425-L1-MT2	33.5
	Ç350-L1-MT4	35.5	Ç425-L1-MT4	34.5
	Ç350-L3-MT0	30	Ç425-L3-MT0	34.5
	Ç350-L3-MT2	31	Ç425-L3-MT2	32.5
	Ç350-L3-MT4	32.5	Ç425-L3-MT4	34
GIII (%45 İnce-%55 İri)	Ç350-L0-MT0	35.5	Ç425-L0-MT0	36.5
	Ç350-L1-MT0	32	Ç425-L1-MT0	32.5
	Ç350-L1-MT2	34.5	Ç425-L1-MT2	34
	Ç350-L1-MT4	37	Ç425-L1-MT4	35
	Ç350-L3-MT0	30.5	Ç425-L3-MT0	29
	Ç350-L3-MT2	31	Ç425-L3-MT2	32
	Ç350-L3-MT4	33.5	Ç425-L3-MT4	34

3.3.5. Ultrases Geçiş Hızı Tayini

Ultrases geçiş hızı değerleri ile betonun basınç dayanımı ve diğer dayanıklılık özellikleri arasında yaklaşık bir ilişki elde edilebilmektedir. Bu deneyi için ultrasonik test cihazı kullanılarak beton bloğunun yüzüne derbe atışı gibi ultrases vuruşlar uygulanarak beton içinde basınç dalgaları oluşturmaktadır. Bu cihaz yardımıyla, ultrases derbenin, betona gönderildiği yüzeye tekrar alındığı yüzey arasındaki mesafeyi ne kadar sürede geçtiği mikro saniye birimi ile belirlemekte ve ses dalga hızı hesaplanmaktadır. Aynı zamanda ultrasonik test cihazı, yapıdaki betonun çatlak varlığı, basınç dayanımı, yoğunluğu ve elastisite modülünün tesbit edilmesinde kullanılabilir. Ultrases geçiş hızı tayini deneyi taribatsız bir deneyi metodudur. Bu çalışmada betonun ultrases geçiş hızı tayini 150 mm'lik küp numune üzerine yapılmıştır. [144].



Şekil 3.9. Ultrases geçiş hızı tayini deneyi

Ultrases geçiş hızı (V), betonun yoğunluğu (D) ve betonun elastisite modülü ile ilişkilidir. Beton numunenin bir yüzeyinden diğer yüzeyine ultrases dalganın geçtiği süresi belirlendikten sonra, hızı aşağıdaki formül ile hesaplanmaktadır. Formülde: V; ultrases geçiş hızı (km/s), S; ultrases dalgasının geçtiği mesafe (km) ve t ise ultrases dalganın betonun bir yüzeyinden diğeri üzerine kadar geçen süredir (µs).

$$V = \frac{S}{t} \times 10^6 \quad \left(\frac{\text{km}}{\text{s}} \right) \quad (3.3)$$

Tayin edilen ultrases geçiş hızı değerleri ile betonun kalitesi standartta verilen Tablo 3.15 yardımıyla tahmin edilebilmektedir [144]. Üretilen betonun günlük ultrases geçiş hız değerleri Tablo 3.16,3.17,3.18’de verilmiştir.

Tablo 3.15. Ultrases geçiş hızı değerleri ile betonun kalitesinin tahmin edilmesi

ultrases geçiş hızı	Birimi	Beton Kalitesi
> 4.5	km/s	Mükemmel
3.5-4.5	km/s	İyi
3.0-3.5	km/s	Şüpheli
2.0-3.0	km/s	Zayıf
< 2.0	km/s	Çok Zayıf

Tablo 3.16. Üretilen betonun 3 günlük ultrases geçiş hız değerleri

Agrega Karışım Oranı Seri İsimleri	V-Değerleri (km/s)	Seri İsimleri	V-Değerleri (km/s)
Ç350-L0-MT0	3.75	Ç425-L0-MT0	3.69
Ç350-L1-MT0	3.51	Ç425-L1-MT0	3.61
Ç350-L1-MT2	3.59	Ç425-L1-MT2	3.59
GI (%65 İnce-%35 İri) Ç350-L1-MT4	3.89	Ç425-L1-MT4	4.17
Ç350-L3-MT0	3.24	Ç425-L3-MT0	3.69
Ç350-L3-MT2	3.41	Ç425-L3-MT2	3.96
Ç350-L3-MT4	3.71	Ç425-L3-MT4	3.41
Ç350-L0-MT0	4.21	Ç425-L0-MT0	3.68
Ç350-L1-MT0	3.54	Ç425-L1-MT0	3.61
Ç350-L1-MT2	4.06	Ç425-L1-MT2	3.91
GII (%55 İnce-%45 İri) Ç350-L1-MT4	3.73	Ç425-L1-MT4	4.15
Ç350-L3-MT0	3.68	Ç425-L3-MT0	3.44
Ç350-L3-MT2	3.33	Ç425-L3-MT2	3.67
Ç350-L3-MT4	3.50	Ç425-L3-MT4	3.70
Ç350-L0-MT0	3.41	Ç425-L0-MT0	4.10
Ç350-L1-MT0	3.78	Ç425-L1-MT0	3.95
Ç350-L1-MT2	3.65	Ç425-L1-MT2	3.94
GIII (%45 İnce-%55 İri) Ç350-L1-MT4	3.76	Ç425-L1-MT4	3.71
Ç350-L3-MT0	3.85	Ç425-L3-MT0	3.31
Ç350-L3-MT2	3.42	Ç425-L3-MT2	3.52
Ç350-L3-MT4	3.70	Ç425-L3-MT4	3.76

Tablo 3.17. Üretilen betonun 7 günlük ultrases geçiş hız değerleri

Agrega Karışım Oranı Seri İsimleri	V-Değerleri (km/s)	Seri İsimleri	V-Değerleri (km/s)
Ç350-L0-MT0	4.15	Ç425-L0-MT0	3.71
Ç350-L1-MT0	3.66	Ç425-L1-MT0	3.81
Ç350-L1-MT2	3.75	Ç425-L1-MT2	3.82
GI (%65 İnce-%35 İri) Ç350-L1-MT4	4.07	Ç425-L1-MT4	3.95
Ç350-L3-MT0	3.41	Ç425-L3-MT0	3.72
Ç350-L3-MT2	3.69	Ç425-L3-MT2	3.58
Ç350-L3-MT4	3.95	Ç425-L3-MT4	3.40
Ç350-L0-MT0	4.24	Ç425-L0-MT0	3.83
Ç350-L1-MT0	4.13	Ç425-L1-MT0	4.03
Ç350-L1-MT2	3.66	Ç425-L1-MT2	3.85
GII (%55 İnce-%45 İri) Ç350-L1-MT4	3.61	Ç425-L1-MT4	3.69
Ç350-L3-MT0	3.41	Ç425-L3-MT0	3.61
Ç350-L3-MT2	3.63	Ç425-L3-MT2	3.94
Ç350-L3-MT4	3.70	Ç425-L3-MT4	3.59
Ç350-L0-MT0	3.90	Ç425-L0-MT0	4.08
Ç350-L1-MT0	3.81	Ç425-L1-MT0	3.81
Ç350-L1-MT2	3.85	Ç425-L1-MT2	3.94
GIII (%45 İnce-%55 İri) Ç350-L1-MT4	4.29	Ç425-L1-MT4	4.09
Ç350-L3-MT0	3.55	Ç425-L3-MT0	3.28
Ç350-L3-MT2	3.37	Ç425-L3-MT2	3.63
Ç350-L3-MT4	3.57	Ç425-L3-MT4	3.95

Tablo 3.18. Üretilen betonun 28 günlük ultrases geçiş hız değerleri

Agrega Karışım Oranı Seri İsimleri	V-Değerleri (km/s)	Seri İsimleri	V-Değerleri (km/s)
Ç350-L0-MT0	3.84	Ç425-L0-MT0	3.62
Ç350-L1-MT0	3.51	Ç425-L1-MT0	3.92
Ç350-L1-MT2	3.64	Ç425-L1-MT2	3.58
GI (%65 İnce-%35 İri) Ç350-L1-MT4	3.58	Ç425-L1-MT4	3.79
Ç350-L3-MT0	3.59	Ç425-L3-MT0	3.51
Ç350-L3-MT2	3.36	Ç425-L3-MT2	3.75
Ç350-L3-MT4	3.53	Ç425-L3-MT4	4.05
Ç350-L0-MT0	3.99	Ç425-L0-MT0	3.91
Ç350-L1-MT0	3.69	Ç425-L1-MT0	3.70
Ç350-L1-MT2	4.04	Ç425-L1-MT2	4.27
GII (%55 İnce-%45 İri) Ç350-L1-MT4	4.44	Ç425-L1-MT4	4.31
Ç350-L3-MT0	3.74	Ç425-L3-MT0	3.50
Ç350-L3-MT2	3.84	Ç425-L3-MT2	3.68
Ç350-L3-MT4	3.41	Ç425-L3-MT4	3.82
Ç350-L0-MT0	4.17	Ç425-L0-MT0	3.89
Ç350-L1-MT0	4.14	Ç425-L1-MT0	3.92
Ç350-L1-MT2	4.34	Ç425-L1-MT2	3.75
GIII (%45 İnce-%55 İri) Ç350-L1-MT4	4.24	Ç425-L1-MT4	3.77
Ç350-L3-MT0	4.14	Ç425-L3-MT0	3.62
Ç350-L3-MT2	3.46	Ç425-L3-MT2	3.87
Ç350-L3-MT4	3.85	Ç425-L3-MT4	3.79

3.3.6. Basınç Dayanımı Deneyi

Basınç dayanımı betonun en önemli mekanik özelliği olmaktadır. Betonun gevrek bir malzeme olmasından, dayanımları arası en yüksek basınç ve en düşük de betonun çekme dayanımıdır. Yapının betonarme hesapların betonun çekme dayanımı ihmal edilmekte ve betonun sadece basınca çalıştığı kabul edilmektedir. Betonun diğer özellikleri, betonun basınç dayanımına büyük ölçüde bağlı olmaktadır. Basınç dayanımı yüksek olan bir betonun, su geçirimsizliği yüksek, kompasitesi yüksek, aşınması az ve dış ortam etkilerine daha dayanıklı olmaktadır. Genelde, betonun dayanım özelliklerine 3, 7, 28 ve 90 gün sonra bakılmaktadır. Beton numunesinin 28 günlük basınç dayanımı değeri, pratikte %100 değeri olarak kabul edilmektedir. Beton dayanımındaki artışlar 28 güne kadar hızlı olur ve daha sonra yavaşlanır ve devam eder.

Bu deneysel çalışmada, betonun 3, 7, ve 28 günlük basınç dayanımı değerlerine bakılmıştır. ST EN 12390-2 standardına uygun olarak hazırlanan beton numuneleri kütleme işlemi tabi tutulmuş ve planlandığı gününde su havuzlarından çıkartılarak kurulması için bir süre açık havada bekletildikten sonra TS EN 12390-3'e uygun bir şekilde bu numunelerin basınç dayanımı tayin edilmiştir. Basınç deneyinde 2500 kN kapasiteli beton test presi kullanılmıştır. Beton numuneleri, yük uygulama yönü beton döküm yönüne dik olacak şekilde beton test presine yerleştirilmiş ve 6.8 KN/sn'lik sabit yüke ile kırılmıştır. Kırıldıktan sonra kırılma yükü kullanılarak Formül 3.4 ile betonun basınç dayanımı belirlenmiştir [145]. Üretilen betonun günlük basınç değerleri Tablo 3.19,3.20,3.21,3.22'de verilmiştir.



Şekil 3.10. Basınç dayanımı deneyi, numune kırılma şekilleri

$$f_c = \frac{F}{A_c} \quad (3.4)$$

Burada; f_c Basınç dayanımı (N/mm^2 veya KN/cm^2), F Kırılma anında ulaşılan en büyük yük (N veya KN) ve A_c numunenin, üzerine basınç yükünün uygulandığı en kesit alanıdır (mm^2 veya cm^2).

Tablo 3.19. Üretilen betonun 3 günlük basınç değerleri numune boyutu ($150 \times 150 \times 150$) mm

Seri İsimleri	Basınç Dayanımı (MPa)	Seri İsimleri	Basınç Dayanımı (MPa)
Ç350-L0-MT0	35.1	Ç425-L0-MT0	33.9
Ç350-L1-MT0	32.4	Ç425-L1-MT0	30.8
Ç350-L1-MT2	38.2	Ç425-L1-MT2	34.0
GI (%65 İnce-%35 İri) Ç350-L1-MT4	38.8	Ç425-L1-MT4	39.1
Ç350-L3-MT0	30.1	Ç425-L3-MT0	27.3
Ç350-L3-MT2	33.0	Ç425-L3-MT2	30.8
Ç350-L3-MT4	34.2	Ç425-L3-MT4	35.2
Ç350-L0-MT0	40.2	Ç425-L0-MT0	35.4
Ç350-L1-MT0	37.5	Ç425-L1-MT0	30.4
Ç350-L1-MT2	39.4	Ç425-L1-MT2	33.8
GII (%55 İnce-%45 İri) Ç350-L1-MT4	40.1	Ç425-L1-MT4	38.6
Ç350-L3-MT0	30.6	Ç425-L3-MT0	27.8
Ç350-L3-MT2	32.1	Ç425-L3-MT2	33.1
Ç350-L3-MT4	33.6	Ç425-L3-MT4	34.2
Ç350-L0-MT0	34.3	Ç425-L0-MT0	32.4
Ç350-L1-MT0	31.6	Ç425-L1-MT0	29.9
Ç350-L1-MT2	34.6	Ç425-L1-MT2	36.2
GIII (%45 İnce-%55 İri) Ç350-L1-MT4	37.1	Ç425-L1-MT4	42.3
Ç350-L3-MT0	28.3	Ç425-L3-MT0	26.3
Ç350-L3-MT2	31.0	Ç425-L3-MT2	30.6
Ç350-L3-MT4	34.4	Ç425-L3-MT4	35.9

Tablo 3.20. Üretilen betonun 7 günlük basınç değerleri numune boyutu (150×150×150) mm

Agrega Karışım Oranı Seri İsimleri	Basınç Dayanımı (MPa)	Seri İsimleri	Basınç Dayanımı (MPa)
GI (%65 İnce-%35 İri) Ç350-L1-MT4	Ç350-L0-MT0	Ç425-L0-MT0	37.2
	Ç350-L1-MT0	Ç425-L1-MT0	34.7
	Ç350-L1-MT2	Ç425-L1-MT2	37.4
	Ç350-L3-MT0	Ç425-L3-MT0	29.8
	Ç350-L3-MT2	Ç425-L3-MT2	32.2
	Ç350-L3-MT4	Ç425-L3-MT4	38.2
	GII (%55 İnce-%45 İri) Ç350-L1-MT4	Ç350-L0-MT0	Ç425-L0-MT0
Ç350-L1-MT0		Ç425-L1-MT0	35.5
Ç350-L1-MT2		Ç425-L1-MT2	39.7
Ç350-L3-MT0		Ç425-L3-MT0	30.7
Ç350-L3-MT2		Ç425-L3-MT2	34.1
Ç350-L3-MT4		Ç425-L3-MT4	36.0
GIII (%45 İnce-%55 İri) Ç350-L1-MT4		Ç350-L0-MT0	Ç425-L0-MT0
	Ç350-L1-MT0	Ç425-L1-MT0	31.7
	Ç350-L1-MT2	Ç425-L1-MT2	38.9
	Ç350-L3-MT0	Ç425-L3-MT0	30.3
	Ç350-L3-MT2	Ç425-L3-MT2	33.6
	Ç350-L3-MT4	Ç425-L3-MT4	38.4

Tablo 3.21. Üretilen betonun 28 günlük basınç değerleri numune boyutu (150×150×150) mm

Agrega Karışım Oranı Seri İsimleri	Basınç Dayanımı (MPa)	Seri İsimleri	Basınç Dayanımı (MPa)
GI (%65 İnce-%35 İri) Ç350-L1-MT4	Ç350-L0-MT0	Ç425-L0-MT0	44.9
	Ç350-L1-MT0	Ç425-L1-MT0	41.4
	Ç350-L1-MT2	Ç425-L1-MT2	43.5
	Ç350-L3-MT0	Ç425-L3-MT0	33.9
	Ç350-L3-MT2	Ç425-L3-MT2	37.2
	Ç350-L3-MT4	Ç425-L3-MT4	42.4
	GII (%55 İnce-%45 İri) Ç350-L1-MT4	Ç350-L0-MT0	Ç425-L0-MT0
Ç350-L1-MT0		Ç425-L1-MT0	40.2
Ç350-L1-MT2		Ç425-L1-MT2	41.8
Ç350-L3-MT0		Ç425-L3-MT0	34.7
Ç350-L3-MT2		Ç425-L3-MT2	38.8
Ç350-L3-MT4		Ç425-L3-MT4	44.4
GIII (%45 İnce-%55 İri) Ç350-L1-MT4		Ç350-L0-MT0	Ç425-L0-MT0
	Ç350-L1-MT0	Ç425-L1-MT0	35.0
	Ç350-L1-MT2	Ç425-L1-MT2	45.7
	Ç350-L3-MT0	Ç425-L3-MT0	32.2
	Ç350-L3-MT2	Ç425-L3-MT2	38.6
	Ç350-L3-MT4	Ç425-L3-MT4	47.4

Tablo 3.22. Üretilen betonun 28 günlük basınç değerleri numune boyutu (100×100×100) mm

Agrega Karışım Oranı Seri İsimleri	Basınç Dayanımı (MPa)	Seri İsimleri	Basınç Dayanımı (MPa)
Ç350-L0-MT0	55.1	Ç425-L0-MT0	51.4
Ç350-L1-MT0	43.4	Ç425-L1-MT0	40.5
Ç350-L1-MT2	52.0	Ç425-L1-MT2	44.5
GI (%65 İnce-%35 İri) Ç350-L1-MT4	55.3	Ç425-L1-MT4	50.8
Ç350-L3-MT0	41.3	Ç425-L3-MT0	37.1
Ç350-L3-MT2	44.5	Ç425-L3-MT2	40.5
Ç350-L3-MT4	50.4	Ç425-L3-MT4	44.1
Ç350-L0-MT0	55.8	Ç425-L0-MT0	53.2
Ç350-L1-MT0	48.8	Ç425-L1-MT0	47.3
Ç350-L1-MT2	52.2	Ç425-L1-MT2	52.7
GII (%55 İnce-%45 İri) Ç350-L1-MT4	56.9	Ç425-L1-MT4	59.8
Ç350-L3-MT0	39.5	Ç425-L3-MT0	40.7
Ç350-L3-MT2	41.4	Ç425-L3-MT2	45.3
Ç350-L3-MT4	45.8	Ç425-L3-MT4	47.1
Ç350-L0-MT0	54.5	Ç425-L0-MT0	49.4
Ç350-L1-MT0	45.5	Ç425-L1-MT0	44.5
Ç350-L1-MT2	49.0	Ç425-L1-MT2	48.2
GIII (%45 İnce-%55 İri) Ç350-L1-MT4	58.6	Ç425-L1-MT4	56.6
Ç350-L3-MT0	40.1	Ç425-L3-MT0	38.5
Ç350-L3-MT2	46.2	Ç425-L3-MT2	45.6
Ç350-L3-MT4	51.8	Ç425-L3-MT4	48.0

3.3.7. Yarmada Çekme Dayanımı

Betonun yarmada çekme dayanımı deneyi veya dolaylı çekme dayanımı deneyi genellikle yarma deneyi olarak isimlendirilmektedir. Yarma deneyi değerleri bize betonun yarılma ve çekme gerilmelerine karşı dayanımı verilmektedir. Çalışmada betonun yarma deneyi TS EN 12390-6'ya göre yapılmıştır. Betonun yarmada çekme dayanımı tayin edilirken hem küp hem de silindir numuneleri kullanılabilir. Çalışmada ultrases geçiş hızı tayini deneyinden çıkan 150 mm'lik küp beton numuneleri, Şekil 3.11'deki gibi standarda uygun ayar vererek beton tast presine yerleştirilmiştir. Basınç dayanımında olduğu gibi basınç yükü ile kırılmıştır. Kırılma yükü kullanılarak Formül 3.5 ile betonun yarmada çekme dayanımı hesaplanmıştır [146]. Üretilen betonun 28 günlük yarma değerleri tablo 3.23'te verilmiştir.



Şekil 3.11. Yarmada çekme dayanımı deney düzeneği

$$f_{st} = \frac{2P}{nBD} \left(\frac{N}{\text{mm}^2} \right) \quad (3.5)$$

Burada: f_{st} ; Yarmada çekme dayanımı (N/mm^2), P ; Numunenin kırıldığı maksimum yük (N), B ; Numunenin genişliği (mm) ve D ; Numunenin yüksekliğidir (mm).

Tablo 3.23. Üretilen betonun 28 günlük yarma değerleri numune boyutu ($150 \times 150 \times 150$) mm

Agrega Karışım Oranı Seri İsimleri	Yarmada Çekme Dayanımı (MPa)	Seri İsimleri	Yarmada Çekme Dayanımı (MPa)
GI (%65 İnce-%35 İri) Ç350-L1-MT4	Ç350-L0-MT0	Ç425-L0-MT0	3.33
	Ç350-L1-MT0	Ç425-L1-MT0	3.42
	Ç350-L1-MT2	Ç425-L1-MT2	3.35
	Ç350-L1-MT4	Ç425-L1-MT4	3.80
	Ç350-L3-MT0	Ç425-L3-MT0	2.82
	Ç350-L3-MT2	Ç425-L3-MT2	3.32
	Ç350-L3-MT4	Ç425-L3-MT4	3.83
GII (%55 İnce-%45 İri) Ç350-L1-MT4	Ç350-L0-MT0	Ç425-L0-MT0	3.56
	Ç350-L1-MT0	Ç425-L1-MT0	3.79
	Ç350-L1-MT2	Ç425-L1-MT2	3.91
	Ç350-L1-MT4	Ç425-L1-MT4	4.50
	Ç350-L3-MT0	Ç425-L3-MT0	3.23
	Ç350-L3-MT2	Ç425-L3-MT2	3.86
	Ç350-L3-MT4	Ç425-L3-MT4	3.94
GIII (%45 İnce-%55 İri) Ç350-L1-MT4	Ç350-L0-MT0	Ç425-L0-MT0	3.51
	Ç350-L1-MT0	Ç425-L1-MT0	2.87
	Ç350-L1-MT2	Ç425-L1-MT2	3.99
	Ç350-L1-MT4	Ç425-L1-MT4	4.33
	Ç350-L3-MT0	Ç425-L3-MT0	2.81
	Ç350-L3-MT2	Ç425-L3-MT2	3.26
	Ç350-L3-MT4	Ç425-L3-MT4	3.72

3.3.8. Permeabilite Deneyi

Çalışmada beton numunelerinin hem su emme oranları hem de su işleme derinlikleri yan kılcallık değerleri belirlenmiştir. Betonun düşük su geçirgenliğine sahip olması su sızdırmazlığının belirlenmesinde ve bunun dayanıklılık üzerindeki etkisi sebebiyle önem arz eder. Bununla birlikte betonarme sistem içerisindeki çelik sistemin su geçirgenliği sebebiyle korozyona uğramasını engellemek için önemlidir. Bu deneyden asıl amaç lastik agregalı çevre dost betonların, normal betonlara göre su ile nasıl davrandığı incelemektir.

Bu deney için çalışmada 100 mm'lik küp numuneleri kullanılmıştır. Standarda uygun olarak hazırlanmış numuneler 28 gün sonra kür havuzlarından çıkartılarak yüzeyleri kurutulduktan sonra, tamamen kurutulması için 24 saat boyunca etüve bırakılmıştır. Ağırlığı değişmez haline gelen bu beton numuneleri % 0,1 hassasiyette olan bir terazi ile tartılmış ve ağırlığı kuru olarak kaydedilmiştir. Daha sonra şekil 3.12'deki gibi numuneler geçirimsiz bir bant ile alttan 5 mm mesafe bırakılacak şekilde sarılmış ve yine Şekil 3.12' deki gibi bir düzen ile 1cm su içinde daldırılmıştır. Sonra 1., 5., 10., 20., ve 30.dakikalarda ve 1., 2., 3., 4., 5., 6. saatlerde ve ilaveten 1., 2., 3., 4., 5., 6., 7., 8., 9. günlerde sudan çıkartılıp ağırlığı kaydedilmiştir.

9. günün ağırlığı alındıktan sonra numunelerin etrafındaki bantlar sökülerek 4 bir tarafından suyun yükselme miktarı yani Kılcallık ölçülmüştür. bu dört sonucun ortalaması alınarak kılcallık değeri kaydedilmiştir. Betonun doygun ağırlığını ölçmek için numuneler 24 saat Şekil 3.13'deki gibi su içinde bekletilmiş ve sudan çıkartıldıktan sonra yüzeylerinde serbest su alınmış ve daha sonra tartılarak doygun ağırlığı bulunmuştur. Bunun yanında betonun sudaki ağırlığı da özel bir tartı düzeneği ile belirlenmiştir.



Şekil 3.12. Kılcallık deney düzeneği



Şekil 3.13. Su ile değiştirme yöntemi

Başlangıç kılcallık katsayısı ve nihai kılcallık katsayısı için gerekli olan su işleme derinliği denklem 3.1 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$I = \frac{mt}{A \times D} \quad (\text{mm}) \quad (3.6)$$

Burada;

mt = numunenin zamanla ağırlık değişimi (gr)

A = numunenin su ile temas eden yüzey alanı(mm^2)

D = su yoğunluğu (gr/cm^3)

I = Su işleme derinliği (mm)

Başlangıç kılcallık katsayısını belirlemek için (S_i), I değeri ile zamanın karekökü arasındaki ilişkiye ait eğri çizilir (\sqrt{t}). Eğim, S_i ($\frac{mm}{\sqrt{s}}$)'nin hesaplanması ile elden edilen eğrinin doğrusal regresyon analizinin eğiminden hesaplanmaktadır. 1 dakikadan 6 saate kadar olan bütün zaman aralıklarındaki veriler regresyon analizi için kullanılmaktadır. Nihai emme katsayısının belirlenmesi için (S_s), I (su derinliği) zamanın kareköküne karşı çizilir. S_s ($\frac{mm}{\sqrt{s}}$), doğrusal regresyon analizinin çiziminin eğiminden hesaplanmaktadır. 1 günden 8 güne kadar olan tüm veriler regresyon analizinde kullanılır. Eğer korelasyon katsayıları, S_i ve S_s için 0,98'den düşükse, emilim

katsayıları belirlenememiştir. Denejde elde edilen kılcallık değeri Tablo 3.29,3.30,3.31,3.32,3.33,3.34 'te verilmiştir.

Tablo 3.24. Çimento dozajı 350 kg, GI olan karışımın kılcallık değeri

Seri İsimleri	GI (%65 İnce- %35 İri)Ç350- L0-MT0	GI (%65 İnce- %35 İri)Ç350- L1-MT0	GI (%65 İnce- %35 İri)Ç350- L1-MT2	GI (%65 İnce- %35 İri)Ç350- L1-MT4	GI (%65 İnce- %35 İri)Ç350- L3-MT0	GI (%65 İnce- %35 İri)Ç350- L3-MT2	GI (%65 İnce- %35 İri)Ç350- L3-MT4
Kuru Ağırlık	2242.3	2213.5	2292.8	2256.2	2160.1	2122.5	2193.6
1 dk	2243.8	2216.1	2294.4	2258.7	2163.5	2124.8	2196.4
5 dk	2244.8	2218.0	2295.5	2260.2	2164.1	2126.3	2198.3
10 dk	2245.7	2219.3	2296.5	2261.5	2165.0	2127.1	2199.9
20 dk	2247.0	2220.7	2297.6	2263.1	2166.2	2128.1	2202.0
30 dk	2248.0	2222.1	2298.5	2264.3	2167.1	2128.8	2203.7
1 saat	2250.0	2224.5	2300.3	2266.8	2168.9	2130.3	2207.0
2 saat	2252.4	2227.8	2302.7	2269.7	2170.9	2132.0	2211.0
3 saat	2254.3	2230.1	2304.2	2271.7	2172.1	2133.3	2213.6
4 saat	2255.8	2232.0	2305.5	2273.3	2173.1	2134.3	2215.6
5 saat	2257.1	2233.7	2306.7	2274.8	2173.9	2135.2	2217.3
6 saat	2258.1	2234.9	2307.8	2275.9	2174.5	2136.1	2218.5
1 gün	2276.4	2254.4	2324.1	2293.0	2182.8	2143.9	2234.5
2 gün	2289.4	2267.5	2335.8	2304.5	2186.7	2147.1	2241.7
3 gün	2300.3	2278.7	2346.5	2310.2	2189.6	2149.3	2246.7
4 gün	2309.9	2287.1	2352.7	2314.4	2191.9	2150.9	2250.4
5 gün	2318.0	2294.6	2358.2	2323.8	2194.3	2152.5	2253.6
6 gün	2324.8	2300.7	2362.3	2326.3	2196.1	2153.9	2258.2
7 gün	2329.8	2304.3	2364.4	23274.9	2197.7	2155.1	2258.1
8 gün	2333.6	2307.2	2366.0	2328.5	2199.3	2156.2	2259.8
9 gün	2336.3	2309.0	2367.0	2330.4	2200.3	2157.1	2261.3
Doygun Ağırlık	2354.0	2325.0	2383.4	2344.3	2239.0	2217.9	2277.0
Sudaki Ağırlık	1373.3	1344.3	1396.4	1355.6	1259.6	1245.5	1299.0

Tablo 3.25. Çimento dozajı 350 kg, GII olan karışımın kılcallık değerleri

Seri İsimleri	GII (%65 İnce- %35 İri)Ç350- L0-MT0	GII (%65 İnce- %35 İri)Ç350- L1-MT0	GII (%65 İnce- %35 İri)Ç350- L1-MT2	GII (%65 İnce- %35 İri)Ç350- L1-MT4	GII (%65 İnce- %35 İri)Ç350- L3-MT0	GII (%65 İnce- %35 İri)Ç350- L3-MT2	GII (%65 İnce- %35 İri)Ç350- L3-MT4
Kuru Ağırlık	2289.3	2221.4	2268.9	2243.6	2167.7	2149.8	2143.0
1 dk	2290.9	2222.9	2270.3	2245.4	2170.9	2153.2	2145.9
5 dk	2291.6	2224.5	2271.6	2246.0	2173.0	2154.5	2147.3
10 dk	2292.0	2225.5	2272.3	2246.6	2174.6	2155.7	2148.3
20 dk	2292.6	2226.9	2273.3	2247.3	2176.4	2157.2	2149.7
30 dk	2293.1	2227.9	2274.3	2248.1	2178.1	2158.4	2150.9
1 saat	2294.0	2230.1	2276.3	2249.7	2181.2	2161.3	2153.6
2 saat	2295.0	2233.2	2279.2	2252.1	2184.9	2164.4	2156.8
3 saat	2295.7	2235.6	2281.5	2254.1	2187.6	2167.3	2159.3
4 saat	2296.4	2237.4	2283.6	2258.0	2189.9	2169.4	2161.4
5 saat	2297.0	2239.5	2285.5	2257.7	2192.0	2171.3	2163.2
6 saat	2297.5	2241.2	2287.2	2259.2	2193.6	2173.0	2164.7
1 gün	2302.6	2264.6	2310.5	2280.3	2212.9	2192.2	2184.5
2 gün	2304.9	2279.0	2325.6	2294.5	2224.7	2202.9	2197.4
3 gün	2307.0	2292.1	2337.7	2305.9	2234.0	2211.5	2205.7
4 gün	2308.6	2301.9	2346.9	2314.6	2241.0	2217.9	2212.0
5 gün	2310.6	2310.2	2354.5	2322.0	2246.8	2223.5	2218.1
6 gün	2312.4	2316.6	2359.9	2327.2	2251.3	2228.6	2223.3
7 gün	2313.6	2320.2	2363.1	2331.4	2254.3	2231.7	2226.1
8 gün	2314.6	2323.0	2365.8	2334.3	2256.8	2234.5	2228.6
9 gün	2315.4	2325.2	2367.4	2336.4	2258.6	2236.5	2230.3
Doygun Ağırlık	2373.8	2328.2	2370.4	2341.2	2263.6	2247.0	2233.8
Sudaki Ağırlık	1403.6	1349.1	1386.5	1353.2	1274.6	1262.7	1254.1

Tablo 3.26. Çimento dozajı 350 kg, GIII olan karışımın kılcallık değerleri

Seri İsimleri	GIII (%65 İnce- %35 İri)Ç350- L0-MT0	GIII (%65 İnce- %35 İri)Ç350- L1-MT0	GIII (%65 İnce- %35 İri)Ç350- L1-MT2	GIII (%65 İnce- %35 İri)Ç350- L1-MT4	GIII (%65 İnce- %35 İri)Ç350- L3-MT0	GIII (%65 İnce- %35 İri)Ç350- L3-MT2	GIII (%65 İnce- %35 İri)Ç350- L3-MT4
Kuru Ağırlık	2266.8	2257.7	2286.2	2270.4	2226.8	2208.2	2240.1
1 dk	2268.4	2259.5	2289.2	2272.5	2228.3	2211.0	2242.8
5 dk	2269.5	2260.7	2291.4	2274.0	2229.4	2213.1	2245.0
10 dk	2270.4	2261.7	2293.0	2275.2	2230.4	2214.8	2247.0
20 dk	2271.5	2263.0	2295.0	2276.7	2231.6	2216.7	2249.2
30 dk	2272.6	2264.2	2296.6	2279.2	2232.7	2218.4	2251.2
1 saat	2274.5	2266.1	2299.8	2280.9	2234.6	2221.4	2254.7
2 saat	2279.3	2269.4	2305.2	2285.5	2238.1	2226.2	2260.1
3 saat	2282.4	2271.7	2309.1	2288.9	2240.5	2229.6	2263.6
4 saat	2285.0	2273.3	2310.8	2291.0	2241.9	2231.5	2265.6
5 saat	2286.9	2274.5	2312.5	2292.9	2243.3	2233.1	22267.3
6 saat	2288.1	2275.7	2313.7	2294.1	2244.5	2234.3	22268.5
1 gün	2319.5	2296.1	2339.2	2318.7	2264.2	2260.9	2290.5
2 gün	2332.3	2306.1	2352.6	2332.0	2273.4	2272.4	2300.6
3 gün	2340.1	2311.6	2363.1	2343.1	2278.7	2281.0	2309.0
4 gün	2346.0	2315.7	2371.0	2351.4	2282.7	2287.5	2315.3
5 gün	2350.6	2321.9	2375.2	2356.8	2286.5	2292.0	2320.2
6 gün	2354.0	2326.5	2378.4	2360.8	2289.3	2295.3	2323.8
7 gün	2357.4	2330.9	2380.8	2363.8	2292.4	2298.2	2327.2
8 gün	2360.2	2334.6	2382.3	2365.8	2295.0	2300.0	2329.4
9 gün	2362.3	2337.4	2383.4	2367.3	2297.0	2301.3	2331.0
Doygun Ağırlık	2380.0	2365.2	2390.8	2369.0	2330.4	2313.4	2338.1
Sudaki Ağırlık	1399.6	1378.2	1411.1	1388.1	1343.9	1330.7	1349.6

Tablo 3.27. Çimento dozajı 425 kg, GI olan karışımın kılcallık değerleri

Seri İsimleri	GI (%65 İnce- %35 İri)Ç350- L0-MT0	GI (%65 İnce- %35 İri)Ç350- L1-MT0	GI (%65 İnce- %35 İri)Ç350- L1-MT2	GI (%65 İnce- %35 İri)Ç350- L1-MT4	GI (%65 İnce- %35 İri)Ç350- L3-MT0	GI (%65 İnce- %35 İri)Ç350- L3-MT2	GI (%65 İnce- %35 İri)Ç350- L3-MT4
Kuru Ağırlık	2269.2	2243.2	2181.2	2143.0	2164.5	2142.3	2126.5
1 dk	2271.1	2245.1	2182.9	2145.0	21666.5	2143.6	2128.2
5 dk	2272.5	2246.4	2184.0	2146.4	2167.7	2144.7	2129.7
10 dk	2273.5	2247.5	2184.9	2147.4	2168.7	2145.4	2130.9
20 dk	2274.8	2248.7	2186.0	2148.6	2169.8	2146.5	2132.4
30 dk	2275.9	2249.6	2187.0	2149.4	2170.8	2147.5	2133.7
1 saat	2277.9	2251.5	2189.4	2151.1	2172.9	2149.3	2136.1
2 saat	2281.1	2254.4	2193.7	2153.5	2176.7	2151.6	2139.2
3 saat	2283.4	2256.4	2197.1	2155.2	2179.5	2153.8	2142.0
4 saat	2284.8	2257.5	2198.9	2156.2	2180.8	2155.3	2144.5
5 saat	2286.0	2258.6	2201.0	2157.2	2182.3	2157.1	2146.6
6 saat	2287.2	2259.8	2202.2	2158.4	2183.5	2158.4	2148.3
1 gün	2310.0	2274.7	2227.0	2173.8	2202.7	2172.8	2169.8
2 gün	2320.5	2281.5	2226.2	2180.6	2209.9	2181.1	2182.8
3 gün	2325.6	2286.6	2238.1	2185.9	2213.3	2189.1	2194.4
4 gün	2329.5	2290.4	2247.0	2189.8	2215.8	2194.6	2202.1
5 gün	2334.3	2293.8	2252.1	2192.7	2217.4	2085.7	2209.5
6 gün	2337.9	2296.4	2256.0	2194.8	2218.6	2004.1	2215.0
7 gün	2340.9	2299.6	2260.2	2197.1	2220.0	2208.1	2220.2
8 gün	2343.1	2302.2	2264.1	2198.8	2221.1	2211.0	2224.1
9 gün	2344.7	2304.1	2267.1	2200.1	2221.9	2213.5	2227.0
Doygun Ağırlık	2375.3	2356.7	2309.8	2281.0	2279.0	2268.1	2245.0
Sudaki Ağırlık	1393.2	1372.6	1335.4	1311.0	1297.3	1287.5	1268.4

Tablo 3.28. Çimento dozajı 425 kg, GII olan karışımın kılcallık değerleri

Seri İsimleri	GII (%65 İnce- %35 İri)Ç350- L0-MT0	GII (%65 İnce- %35 İri)Ç350- L1-MT0	GII (%65 İnce- %35 İri)Ç350- L1-MT2	GII (%65 İnce- %35 İri)Ç350- L1-MT4	GII (%65 İnce- %35 İri)Ç350- L3-MT0	GII (%65 İnce- %35 İri)Ç350- L3-MT2	GII (%65 İnce- %35 İri)Ç350- L3-MT4
Kuru Ağırlık	2269.2	2243.2	2181.2	2143.0	2164.5	2142.3	2171.5
1 dk	2271.1	2245.1	2182.9	2145.0	21666.5	2143.6	2128.2
5 dk	2272.5	2246.4	2184.0	2146.4	2167.7	2144.7	2129.7
10 dk	2273.5	2247.5	2184.9	2147.4	2168.7	2145.4	2130.9
20 dk	2274.8	2248.7	2186.0	2148.6	2169.8	2146.5	2132.4
30 dk	2275.9	2249.6	2187.0	2149.4	2170.8	2147.5	2133.7
1 saat	2277.9	2251.5	2189.4	2151.1	2172.9	2149.3	2136.1
2 saat	2281.1	2254.4	2193.7	2153.5	2176.7	2151.6	2139.2
3 saat	2283.4	2256.4	2197.1	2155.2	2179.5	2153.8	2142.0
4 saat	2284.8	2257.5	2198.9	2156.2	2180.8	2155.3	2144.5
5 saat	2286.0	2258.6	2201.0	2157.2	2182.3	2157.1	2146.6
6 saat	2287.2	2259.8	2202.2	2158.4	2183.5	2158.4	2148.3
1 gün	2310.0	2274.7	2227.0	2173.8	2202.7	2172.8	2169.8
2 gün	2320.5	2281.5	2226.2	2180.6	2209.9	2181.1	2182.8
3 gün	2325.6	2286.6	2238.1	2185.9	2213.3	2189.1	2194.4
4 gün	2329.5	2290.4	2247.0	2189.8	2215.8	2194.6	2202.1
5 gün	2334.3	2293.8	2252.1	2192.7	2217.4	2085.7	2209.5
6 gün	2337.9	2296.4	2256.0	2194.8	2218.6	2004.1	2215.0
7 gün	2340.9	2299.6	2260.2	2197.1	2220.0	2208.1	2220.2
8 gün	2343.1	2302.2	2264.1	2198.8	2221.1	2211.0	2224.1
9 gün	2344.7	2304.1	2267.1	2200.1	2221.9	2213.5	2227.0
Doygun Ağırlık	2251.4	2366.7	2333.0	2339.8	2131.1	2268.1	2279.3
Sudaki Ağırlık	1299.7	1377.4	1333.7	1361.2	1324.3	1287.5	1300.9

Tablo 3.29. Çimento dozajı 425 kg, GIII olan karışımın kılcallık değerleri

Seri İsimleri	GIII (%65 İnce- %35 İri)Ç350- L0-MT0	GIII (%65 İnce- %35 İri)Ç350- L1-MT0	GIII (%65 İnce- %35 İri)Ç350- L1-MT2	GIII (%65 İnce- %35 İri)Ç350- L1-MT4	GIII (%65 İnce- %35 İri)Ç350- L3-MT0	GIII (%65 İnce- %35 İri)Ç350- L3-MT2	GIII (%65 İnce- %35 İri)Ç350- L3-MT4
Kuru Ağırlık	2279.0	2223.3	2224.3	226.8	2151.3	2208.0	2198.3
1 dk	2280.0	2225.1	2226.4	22289.5	2153.2	2209.7	2199.9
5 dk	2281.4	2226.4	2227.9	22230.2	2155.1	2210.9	2201.1
10 dk	2282.0	2227.3	2229.2	2231.6	2156.4	2211.8	2201.8
20 dk	2282.9	2228.6	2231.0	2233.1	2158.2	2213.0	2202.9
30 dk	2284.0	2229.7	2232.3	2234.9	2159.6	2214.0	2203.9
1 saat	2285.2	2231.8	2234.8	2236.3	2162.1	2215.8	2205.4
2 saat	2286.7	2234.6	2237.7	2238.5	2164.9	2218.2	2207.5
3 saat	2287.7	2236.9	2239.5	2240.0	2166.9	2220.1	2209.0
4 saat	2288.6	2238.7	2241.0	2241.3	2168.6	2221.8	2210.3
5 saat	2289.3	2240.5	2242.5	2242.4	2170.2	2223.3	2211.5
6 saat	2289.9	2241.9	2243.6	2243.2	2171.4	2224.5	2212.4
1 gün	2297.6	2256.6	2258.3	2255.5	2186.6	2242.2	2228.9
2 gün	2302.0	2261.5	2267.4	2265.3	2196.2	2253.8	2239.3
3 gün	2305.5	2272.6	2273.7	2271.8	2203.2	2262.8	2246.7
4 gün	2308.2	2277.8	2278.1	2277.4	2208.4	2270.2	2252.1
5 gün	2310.7	2283.6	2282.1	2282.4	2213.4	2276.8	2256.8
6 gün	2312.6	2287.9	2285.1	2286.1	2217.1	2281.7	2260.4
7 gün	2314.4	2291.9	2288.0	2289.6	2220.8	2285.9	2263.6
8 gün	2315.9	2294.8	2290.4	2292.0	2223.5	2288.5	2266.1
9 gün	2317.5	2297.2	2292.2	2292.5	2225.8	2290.8	2268.0
Doygun Ağırlık	2388.6	2329.4	2337.9	2329.2	2263.8	2317.5	2300.0
Sudaki Ağırlık	1400.9	1356.1	1354.8	1348.3	1279.4	1330.6	1320.5

3.3.9. Yoğunluk Deneyi

Yoğunluk malzemelerin önemli özelliklerinden biridir. Beton yoğunluğu, bize betonun iç yapı ile ilgili bilgi vermektedir. Bunun için çalışmada, üzerine permeabilite deneyi yapılmış olan beton numunesi üzerine TS EN 12390-7'ye uygun yoğunluk deneyi yapılmıştır. Betonun yoğunluğu belirlenmesi için betonun kütlesi ve hacmi gerekmektedir. Standartta sertleşmiş betonun, teslim alındığı durumu, suya doygun durumu ve etüv kurusu durumu olarak kabul edilmektedir ve beton kütlesi de bu üç duruma göre belirlenebilmektedir. Çalışmada beton numunesinin kütlesi permeabilite deneyinde yapıldığı gibi doygun olarak bulunmuştur. Aynı şekilde beton hacmi tayin için de su ile değiştirme (referans metodu), beton numunesinin gerçek ölçüleri kullanılarak hesaplanması ve küp şekilli numunelerde, belirlenen boyutların kontrol edilerek kullanılmasıyla hesaplanması gibi üç metot bulunmaktadır. Çalışmada, bunlardan en

gerçekçi olan şekil 3.13'deki su ile değiştirme yöntemi kullanılmıştır [147]. Bu işlemler sonunda beton numunesinin, hacmi formül 3.7 ve yoğunluğu formül 3.8 ile hesaplanmıştır.

$$V = \frac{m_a - m_{vv}}{\rho_w} \quad (3.7)$$

Burad; V numunenin hacmi (m³), m_a numunenin havadaki kütlesi (suya doymun ağırlık) (kg), m_w numunenin su içerisindeki görünür kütlesi (su içindeki ağırlık)(kg) ve ρ_w suyun 998 kg/m³ olarak kabul edilen, 20 °C sıcaklıktaki yoğunluğudur.

$$D = \frac{m}{V} \quad (3.8)$$

Burada; D Numunenin nem durumu ve hacim tayini yöntemine bağlı olarak yoğunluğu (kg/m³), m Numunenin, deney esnasındaki durumuna bağlı kütlesi (kg) ve V Numunenin özel metotla tayin edilen hacmidir (m³). Sertleşmiş betonun yoğunluk değerleri Tablo 3.35'te verilmiştir.

Tablo 3. 30. Sertleşmiş betonun yoğunluk değerleri

Agrega Karışım Oranı Seri İsimleri	Yoğunluk Değerleri (kg/dm ³)	Seri İsimleri	Yoğunluk Değerleri (kg/dm ³)
Ç350-L0-MT0	2.396	Ç425-L0-MT0	2.414
Ç350-L1-MT0	2.366	Ç425-L1-MT0	2.390
Ç350-L1-MT2	2.410	Ç425-L1-MT2	2.366
GI (%65 İnce-%35 İri) Ç350-L1-MT4	2.366	Ç425-L1-MT4	2.347
Ç350-L3-MT0	2.282	Ç425-L3-MT0	2.317
Ç350-L3-MT2	2.276	Ç425-L3-MT2	2.308
Ç350-L3-MT4	2.324	Ç425-L3-MT4	2.294
Ç350-L0-MT0	2.442	Ç425-L0-MT0	2.361
Ç350-L1-MT0	2.373	Ç425-L1-MT0	2.388
Ç350-L1-MT2	2.404	Ç425-L1-MT2	2.378
GII (%55 İnce-%45 İri) Ç350-L1-MT4	2.365	Ç425-L1-MT4	2.386
Ç350-L3-MT0	2.284	Ç425-L3-MT0	2.335
Ç350-L3-MT2	2.278	Ç425-L3-MT2	2.359
Ç350-L3-MT4	2.276	Ç425-L3-MT4	2.325
Ç350-L0-MT0	2.423	Ç425-L0-MT0	2.414
Ç350-L1-MT0	2.392	Ç425-L1-MT0	2.389
Ç350-L1-MT2	2.435	Ç425-L1-MT2	2.373
GIII (%45 İnce-%55 İri) Ç350-L1-MT4	2.410	Ç425-L1-MT4	2.370
Ç350-L3-MT0	2.358	Ç425-L3-MT0	2.295
Ç350-L3-MT2	2.349	Ç425-L3-MT2	2.344
Ç350-L3-MT4	2.361	Ç425-L3-MT4	2.343

4. BULGULAR

Bu tez çalışmasında deneylerde atık lastik agregaya ve mermer tozu beraber kullanılarak farklı karışımlara sahip çevre dostu ve dayanımı etkileyecek betonlar üretilmiştir. Deney kapsamında laboratuvarlarda üretilen beton serilerine ait deneysel çalışmaların sonuçları aşağıdaki bölümlerde sunulmuştur.

4.1. Atık Lastik Agregaya ve Mermer Tozu ile Yapılan Deneyler

Kullanılan bütün testler ve bunların metotları önerilen standartlara göre uygun ve düzenli bir şekilde uygulanmıştır. Deneylere tabi tutulan seri beton numunelerin boyutları (150×150×150) mm ve (100×100×100) mm olarak seçilmiştir. Kullanılan bu testler beton numuneler taze ve sertleşmiş halinde yapılmaktadır. Uygulanan testler sırası ile Slump testi, yaş birim hacim ağırlık, kuru birim hacim ağırlık, yoğunluk, betonun yaşı(3 günlük,7 günlük,28 günlük) ve basınç testi, test çekici, ultrases geçiş hızı, yarma deneyi ve kılcallık deneyleridir.

4.1.1. Slump Testi

Bu kısımda mermer tozu, atık lastik ile birlikte kullanılarak elde edilen çevre dostu betonların taze ve sertleşmiş beton özellikleri grafikler halinde sunulmuştur. Bu bölümdeki beton seriler laboratuvar ortamında üretilirken agregaya granülometrisi G eğrisi olarak seçilmiştir. Atık mermer tozu (MT), atık lastik agregaya (L) gibi iki farklı atık malzeme karışımı ile oluşturulan çevre dostu betonların çökme değerleri Şekil 4.1’de görülmektedir. Bu seriler hazırlanırken yapılan karışım hesaplarına farklı oranlarda mermer tozu, lastik agregaya eklenerek hazırlanmış ve hesaplanmıştır. Çimento miktarı 350 kg/m³-425 kg/m³, S/Ç oranı 0.55, KK oranı %1,2, MT oranı %0, L oranı %0 olan beton karışımlar referans niteliğindeki başlangıç karışımları olarak belirlenmiştir. Sırasıyla MT oranı %2 ve %4, L oranı %1 ve %3 olarak alınmış ve bu oranların neticesinde farklı varyasyonlar ile hazırlanan bu karışımların çökme değerleri incelenmiştir.

Yapılan çalışmalarda S/Ç oranı (0.55) ve KK oranı (1.2) olarak sabit tutulmuştur. Elde edilen slump sonuçlarını, Şekil 4.1’de oluşturduğumuz grafiklere göre daha kolay anlaşılabilmesi için dört şekilde yorumlayabiliriz. Birincisi lastik (L) oranına göre, ikincisi mermer tozu (MT) ve lastik (L) oranına göre, üçüncüsü agregaya granülometrisi (GI-GII-GIII) değişimine göre dördüncü ise kullanılan çimento dozajı (Ç350-Ç425) değişimine göre açıklarız.

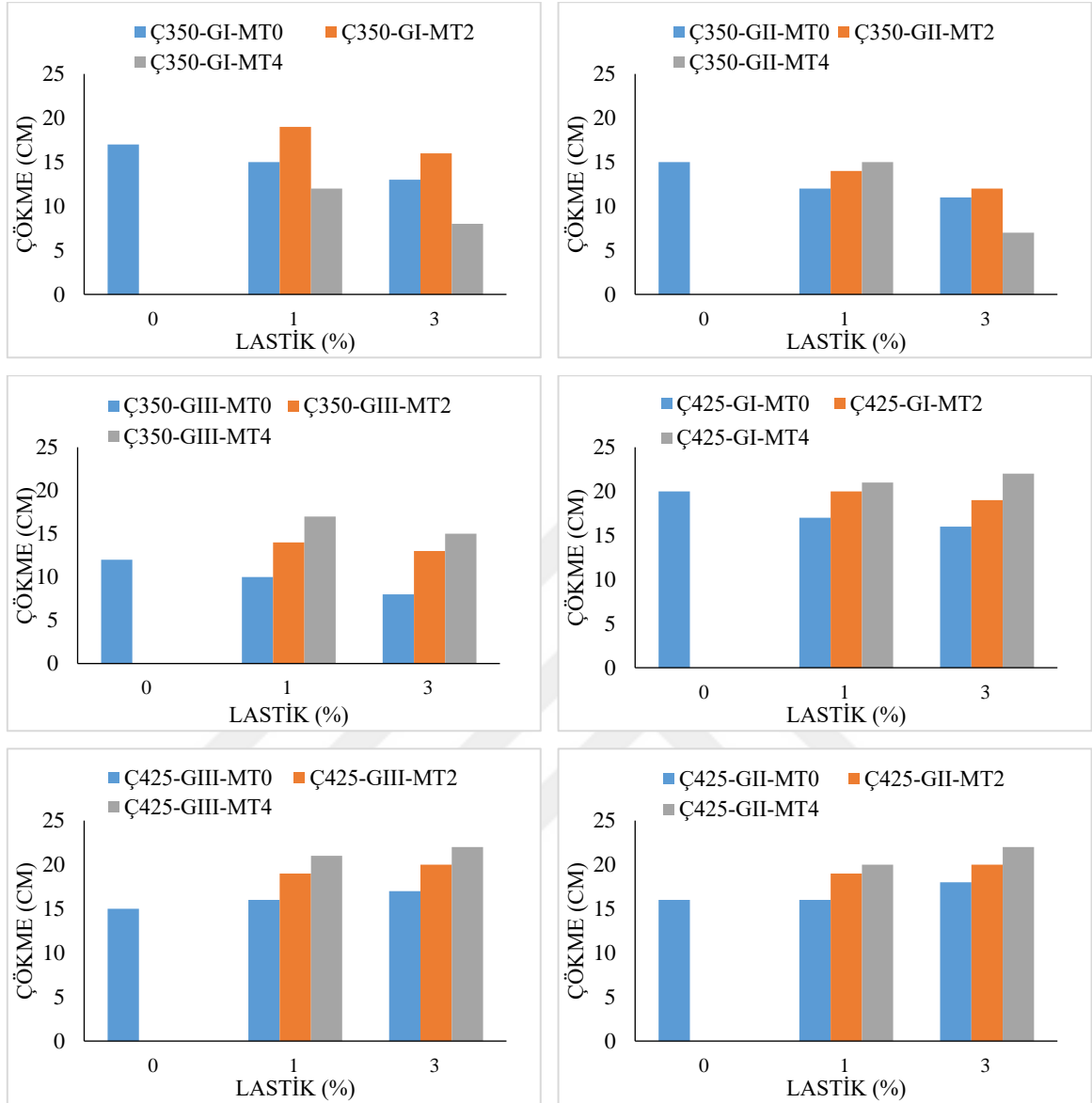
Birinci değerlendirmede referans numunelere göre lastik oranının artması ile slump değerlerinin düştüğü görülmektedir yani lastik oranları %1’den %3’e artmaya devam ettikçe, slump değerleri de düşmeye devam etmektedir.

İkincisi ise, lastik oranına mermer tozu da eklendiğinde, atık mermer tozu belli bir orana kadar slump değerlerini artırmaktadır ve o oran artmaya devam ettikçe mermer tozu topaklanma özelliğine sahip olması nedeniyle slump değerlerini azaltmaktadır. Bu nedenle slump değeri düştükçe üretilen betonun işlenebilirliği de azalacaktır ve bu sebepten dolayı işçilik de zorlaşacaktır.

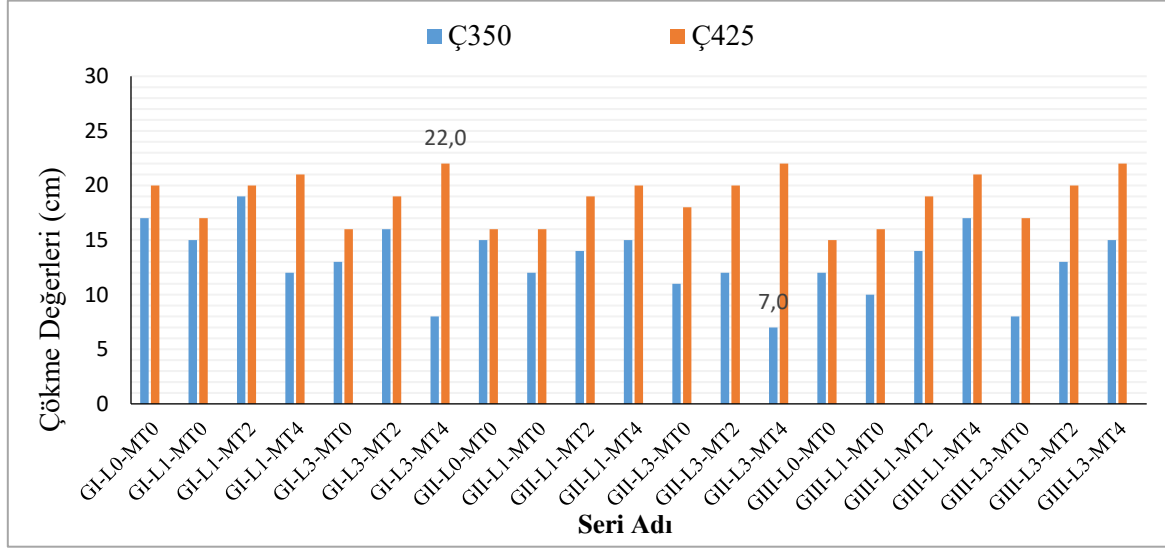
Üçüncü, karışımın 3 farklı agrega granülometrilerine göre değerlendirdiğimizde agrega granülometrisi (%65 İnce-%35 İri yani GI) olan numunelerin slump değerlerinin yükselttiği görülmektedir.

Dördüncüde ise çimento dozajı 450 kg/m^3 olan yani dozajın arttığı serilerde slump değerleri artış göstermektedir. Bu sonuçlara göre üretilen seri beton numunelerinin slump değerlerini özetle değerlendirecek olursak, lastik oranının az olması, atık mermer tozunun artması ve aynı zamanda mermer tozuyla birlikte lastik oranının artması, ince agrega miktarının artması ve çimento dozajının artması ile slump değerlerinin yükselttiği görülmektedir. Yalnız şunu unutmamalıyız ki; atık mermer tozu belli bir orana kadar slump değerlerini artırmaktadır.

Su/Ç = 0.55 KK= %1,2



Şekil 4.1. Atık lastik agrega ve mermer tozu oranı ile betonun çökme değeri arasındaki ilişki



Şekil 4.2. Atık lastik agregası, mermer tozu oranı ve çimento dozajı ile betonun çökme değeri arasındaki ilişki

4.1.2. Yaş Birim Hacim Ağırlık, Kuru Birim Hacim Ağırlık, Yoğunluk

Yaş birim hacim ağırlığının sonuçlarını elde ettiğimiz verilere göre Şekil 4.3, 4.4, 4.5, 4.6, 4.7’de bakarak, hesabı yapılan verilerin oluşturduğu grafiği dört şekilde değerlendirebiliriz.

Birincisi lastik oranı, ikincisi atık mermer tozu ile lastik oranına göre, üçüncüsü agrega granülometrilere göre, dördüncüsü ise kullanılan çimento dozajı değişimine göre.

Birinci değerlendirmede referans numunelerine göre lastik oranı arttıkça yaş birim hacim ağırlığının azaldığı görülmektedir.

İkincide ise atık mermer tozu ile lastik oranı arttıkça yaş birim hacim ağırlığının arttığı görülmektedir.

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

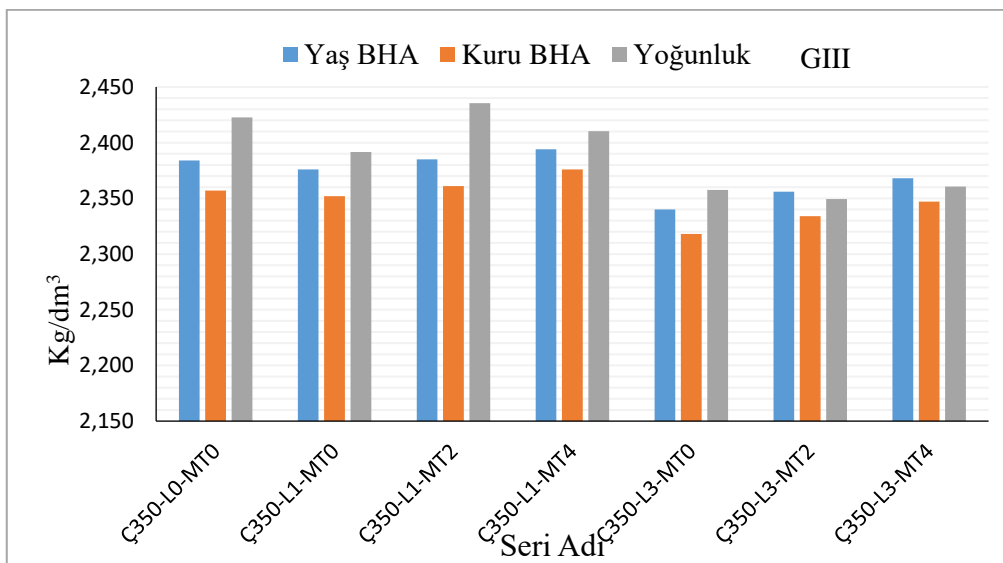
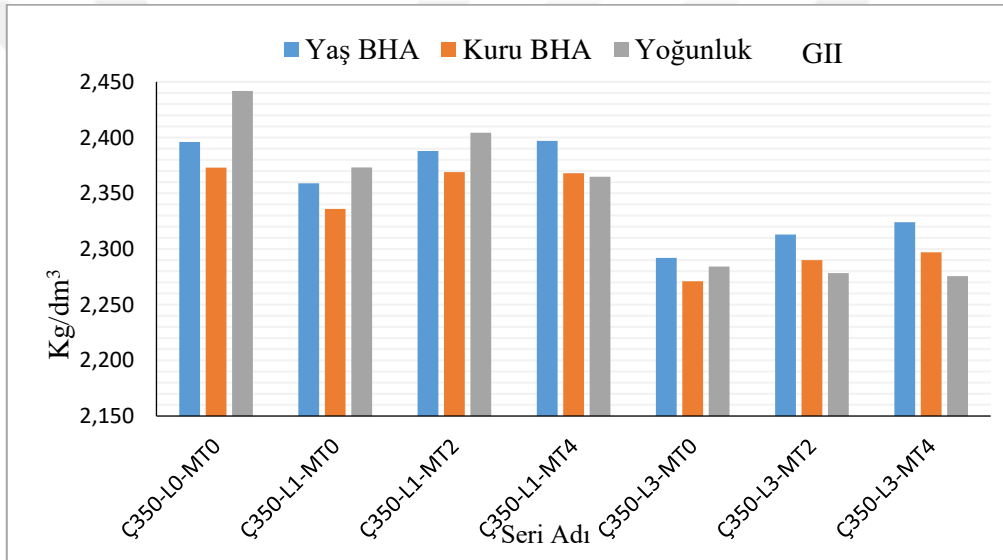
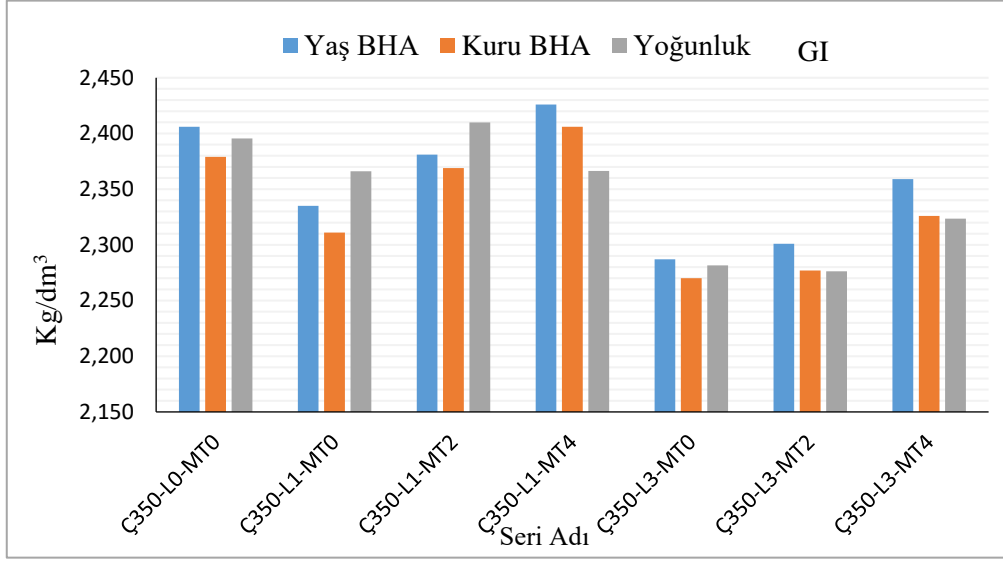
Dördüncüde ise çimento dozajı 450 kg/m³ olan yani dozajın arttığı serilerin yaş birim hacim ağırlığı yükselmektedir.

Bu değerlendirme sonucuna göre şu sonuçlara varmış oluruz: lastik oranının azalması, mermer tozunun artması, agrega karışımındaki ince malzemenin ve çimento dozajının artışı yaş birim hacim ağırlığının artmasına neden olmaktadır. Yaş birim hacim ağırlığının artışı demek seri üretilen beton numunelerindeki boşluk oranının az olması demektir. Bunun anlamında üretilen beton numunelerinin boşluk oranı ne kadar az ise betonun dayanımı o kadar yüksektir demektir.

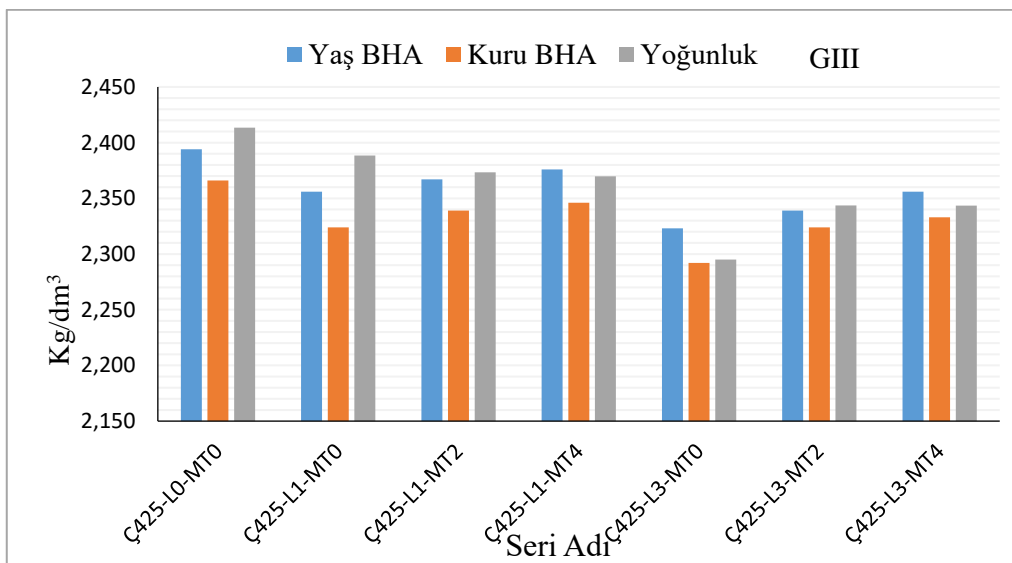
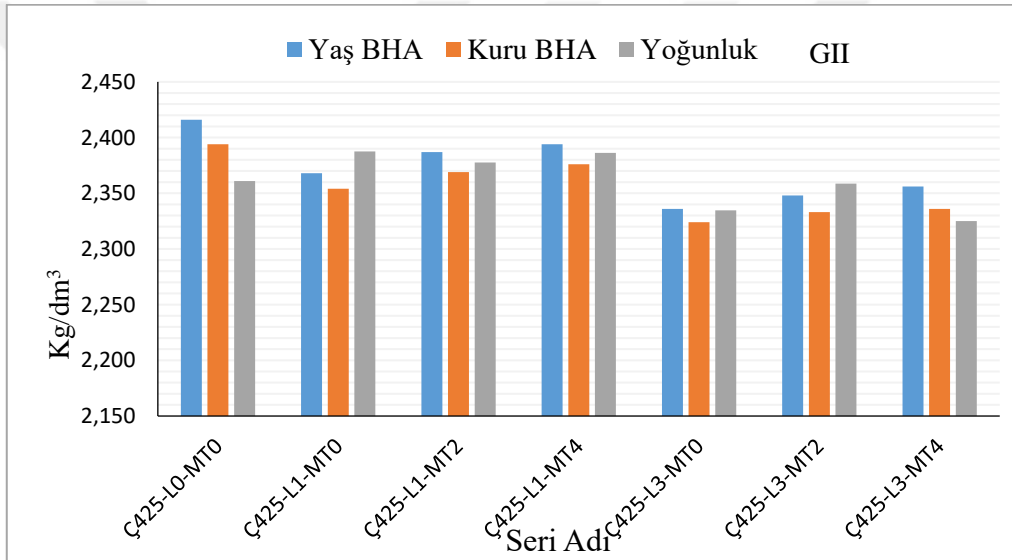
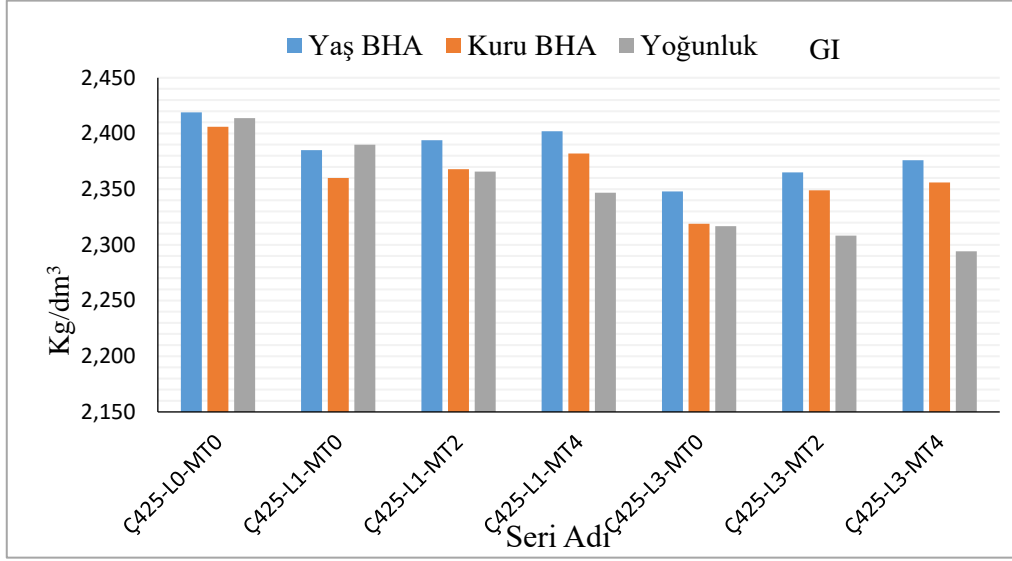
Kuru birim hacim ağırlığının değerlerine bakıldığında referans numunelerine göre lastik oranı arttıkça kuru birim hacim ağırlığının azaldığını, mermer tozu oranı arttıkça kuru birim hacim ağırlığının arttığını, agrega karışımındaki ince malzemenin artması ile kuru birim hacim ağırlığının artmasını benzer 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 ağırlığın artmasına bunun tam tersi olarak lastik oranının artması ise kuru birim hacim ağırlığın azalmasına neden olmaktadır. Kuru birim hacim ağırlığın artışının olması üretilen beton numunelerindeki boşluk oranının az olmasını ifade etmektedir. Seri üretilen beton numunelerinin boşluk oranı ne kadar az ise üretilen beton numunesinin kalitesi ve dayanımı o kadar yüksektir demektir.

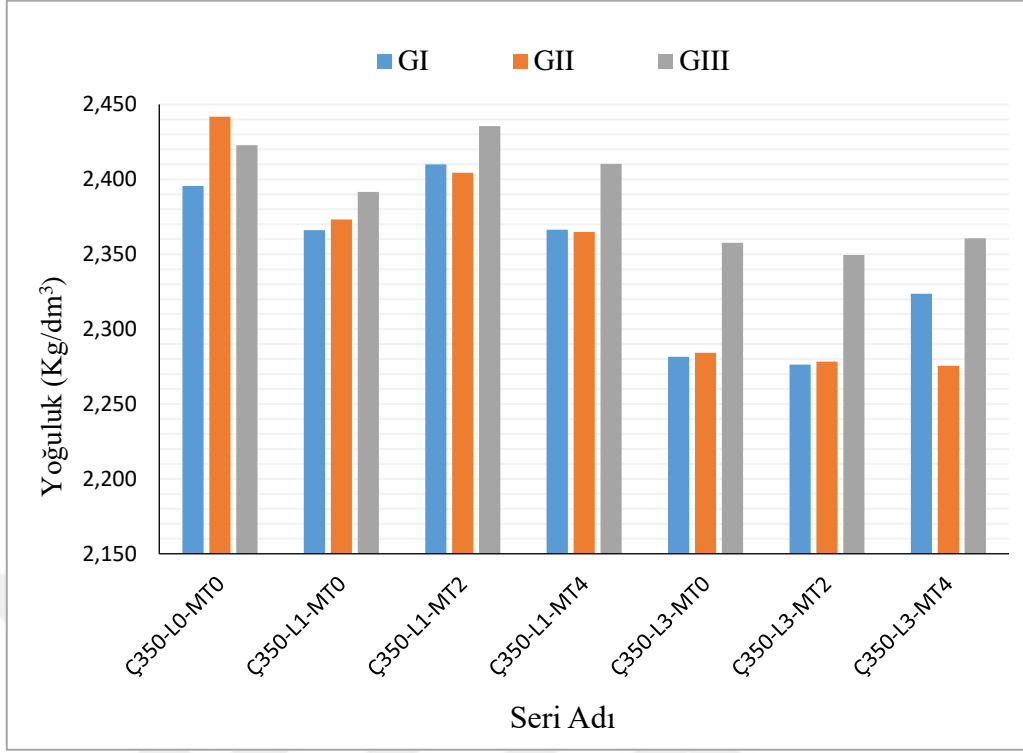
Yoğunluk değerlerine bakıldığında referans numunelerine göre lastik oranı artıkça yoğunluğun azaldığını, mermer tozu oranı artıkça yoğunluğun arttığını, agrega karışımındaki ince malzemenin artması ve oranının iri malzemeye yakın bir oranda olması (%55 ince-%45 iri yani GII) ile yoğunluğun artmasını ve çimento dozajının artması ise yoğunluğun azaldığını görmekteyiz. Bu sonuçlara göre lastik oranının, çimento dozajının artışı yoğunluğun azalmasına bunun tam tersi olarak mermer tozunun artması ve agrega karışımındaki ince malzemenin artması ve oranının iri malzemeye yakın bir oranda olması (GII) yoğunluğun artmasına neden olmaktadır.



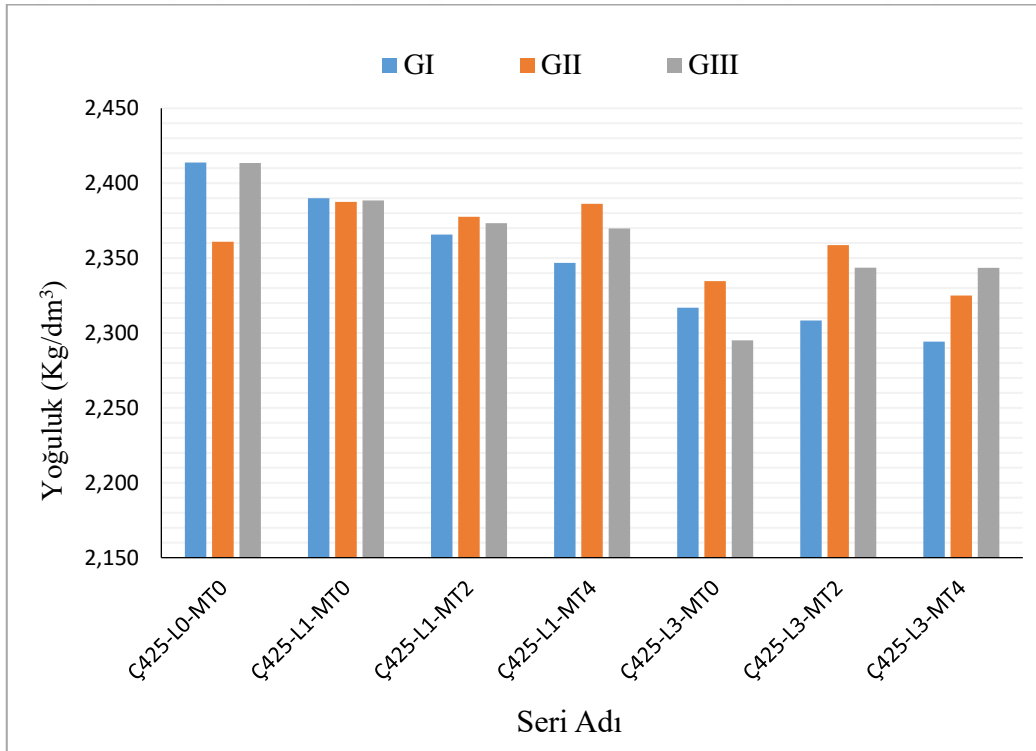
Şekil 4.3. MT,L karışım oranı ve yaş birim hacim ağırlığı, kuru birim hacim ağırlığı, yoğunluk değerlerine ve Ç350 ile agrega granülometrilerine göre grafik çizimi



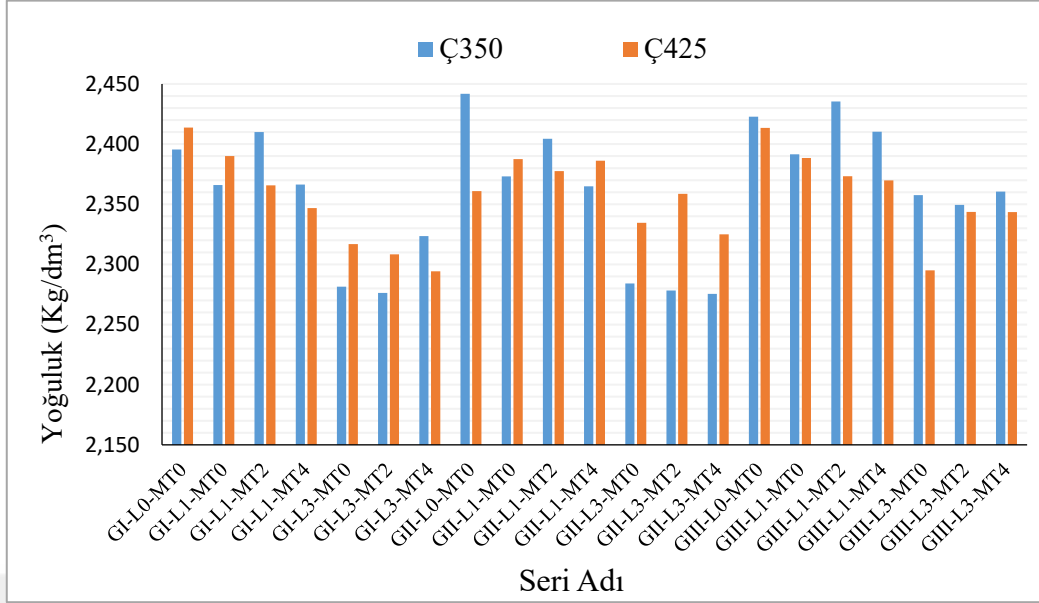
Şekil 4.4. MT,L karışım oranı ve yaş birim hacim ağırlığı, kuru birim hacim ağırlığı, yoğunluk değerlerine ve Ç425 ile agrega granülometrilere göre grafik çizimi



Şekil 4.5. MT,L karışım oranı yoğunluk değerlerine ve Ç350 ile agrega granülometrilere göre grafik çizimi



Şekil 4.6. MT,L karışım oranı ve yaş birim hacim ağırlığı, kuru birim hacim ağırlığı, yoğunluk değerlerine ve Ç425 ile agrega granülometrilere göre grafik çizimi



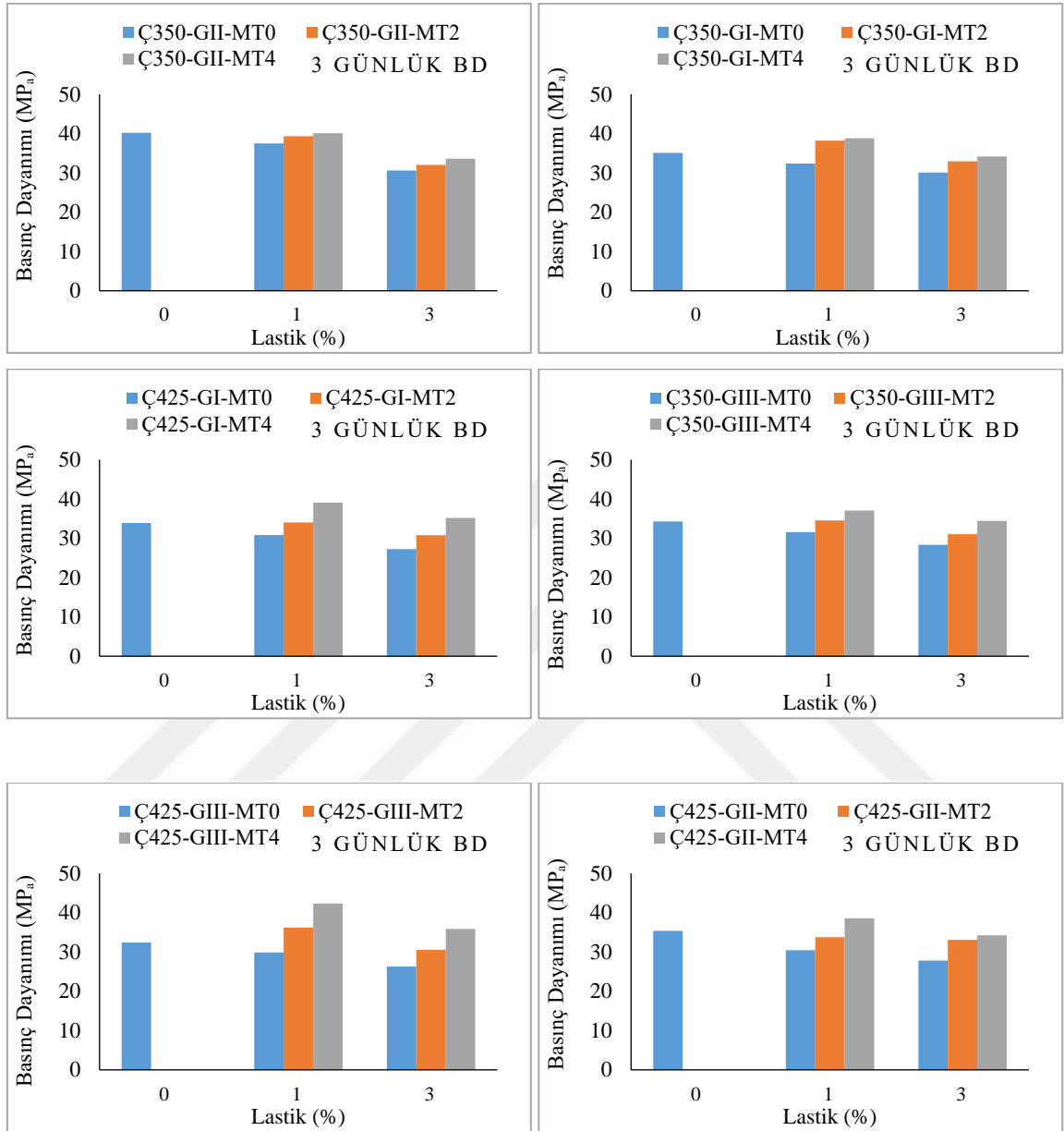
Şekil 4.7. MT,L karışım oranı ve yaş birim hacim ağırlığı, kuru birim hacim ağırlığı, yoğunluk değerlerine ve çimento dozajına göre grafik çizimi

4.1.3. Lastik, MT, Beton Yaşı ve Basınç Dayanımı Arasındaki İlişki

Yapılan çalışmada üretilen beton numunelerinin, lastik oranına, mermer tozu oranına, agrega granülometrilere ve çimento dozajı değerlerine göre değerlendirdiğimiz zaman 150*150*150 mm'lik küp beton numunesinde lastik oranı arttıkça beton basınç dayanımının düştüğünü, mermer tozu % 4 olanın zamana bağlı olarak basınç dayanımlarının yükseldiğini aynı şekilde zamana bağlı olarak basınç dayanımlarının da arttığını, çimento dozajının Ç425 olduğunda yani dozajın artması beton basınç dayanımını düşürdüğünü, 3 günlük ve 7 günlük deneylerde agrega karışımındaki ince malzemenin artması ve oranının iri malzemeye yakın bir oranda olması (%55 İnce-%45 İri yani GII) ile dayanımın arttığını, 28 günlük deneylerde ise agrega karışımındaki ince malzemenin artması (%65 İnce-%35 İri yani GI) beton basınç dayanımını arttırdığını görüyoruz. Aynı zamanda 100*100*100 mm'lik beton numunesinde lastik oranı arttıkça beton basınç dayanımının düştüğünü, mermer tozu % 4 olanın zamana bağlı olarak basınç dayanımlarının yükseldiğini aynı şekilde zamana bağlı olarak basınç dayanımlarının da arttığını, çimento dozajının Ç425 olduğunda yani dozajın artması beton basınç dayanımını düşürdüğünü, 28 günlük deneylerde agrega karışımındaki ince malzemenin artması ve oranının iri malzemeye yakın bir oranda olması (%55 ince-%45 iri yani GII) ile dayanımın arttığını grafikler yardımıyla görüyoruz. Buna göre üretilen betonun zamana bağlı olarak dayanımlarının artacağı ve mermer tozunun beton karışımında belli bir miktara kadar olumsuz etkisinin olmadığı söylenebilir ancak lastik oranının ise dayanımı düşürdüğünü söyleyebiliriz. Bu değerlendirmeler Şekil 4.8,4.9,4.10,4.11,4.12,4.13,4.14,4.15'e göre yapılmıştır.

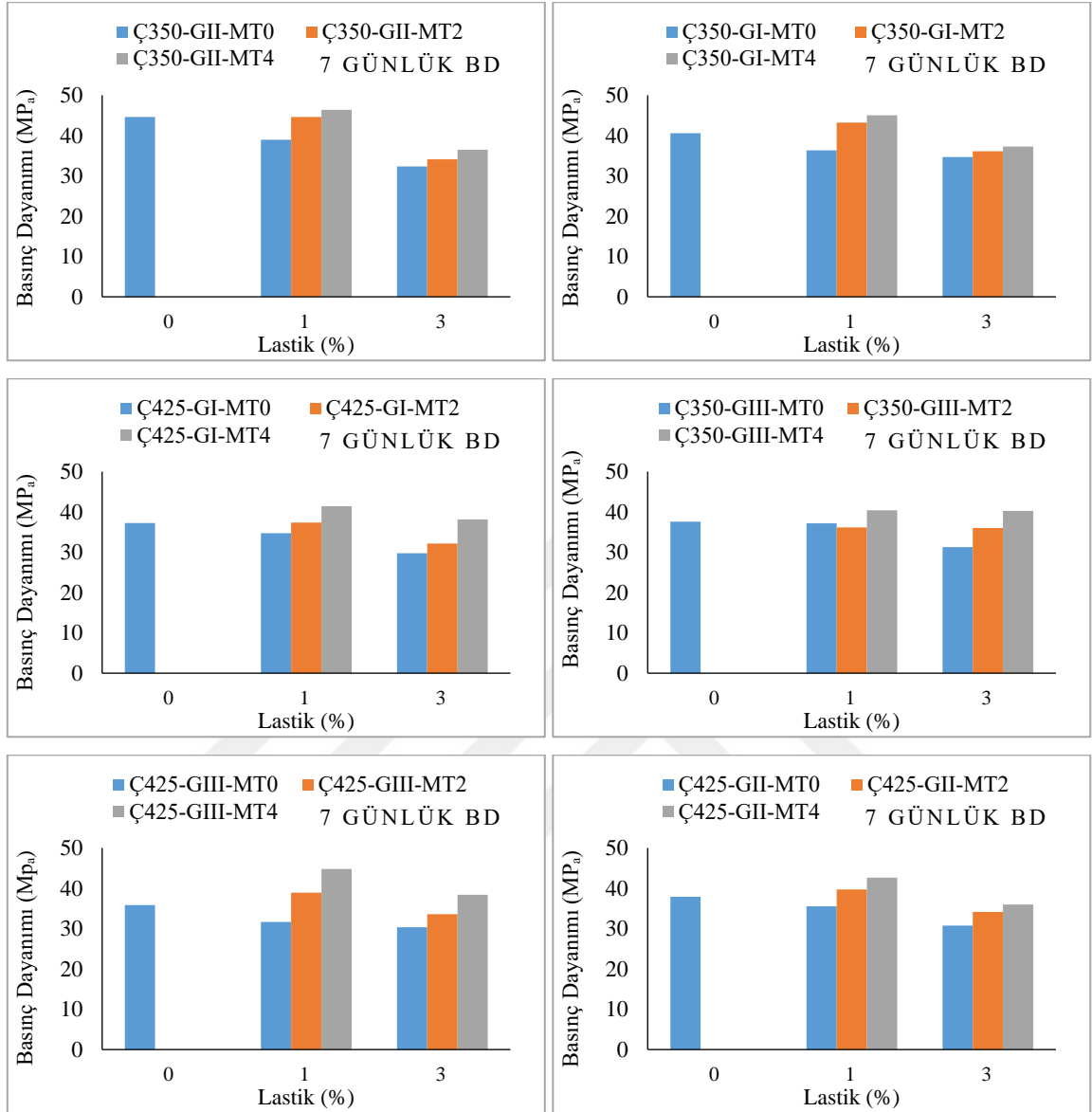
3 Günlük Basınç Dayanımı Sonuçları (150x150x150)

Su/Ç = 0.55 KK = %1,2



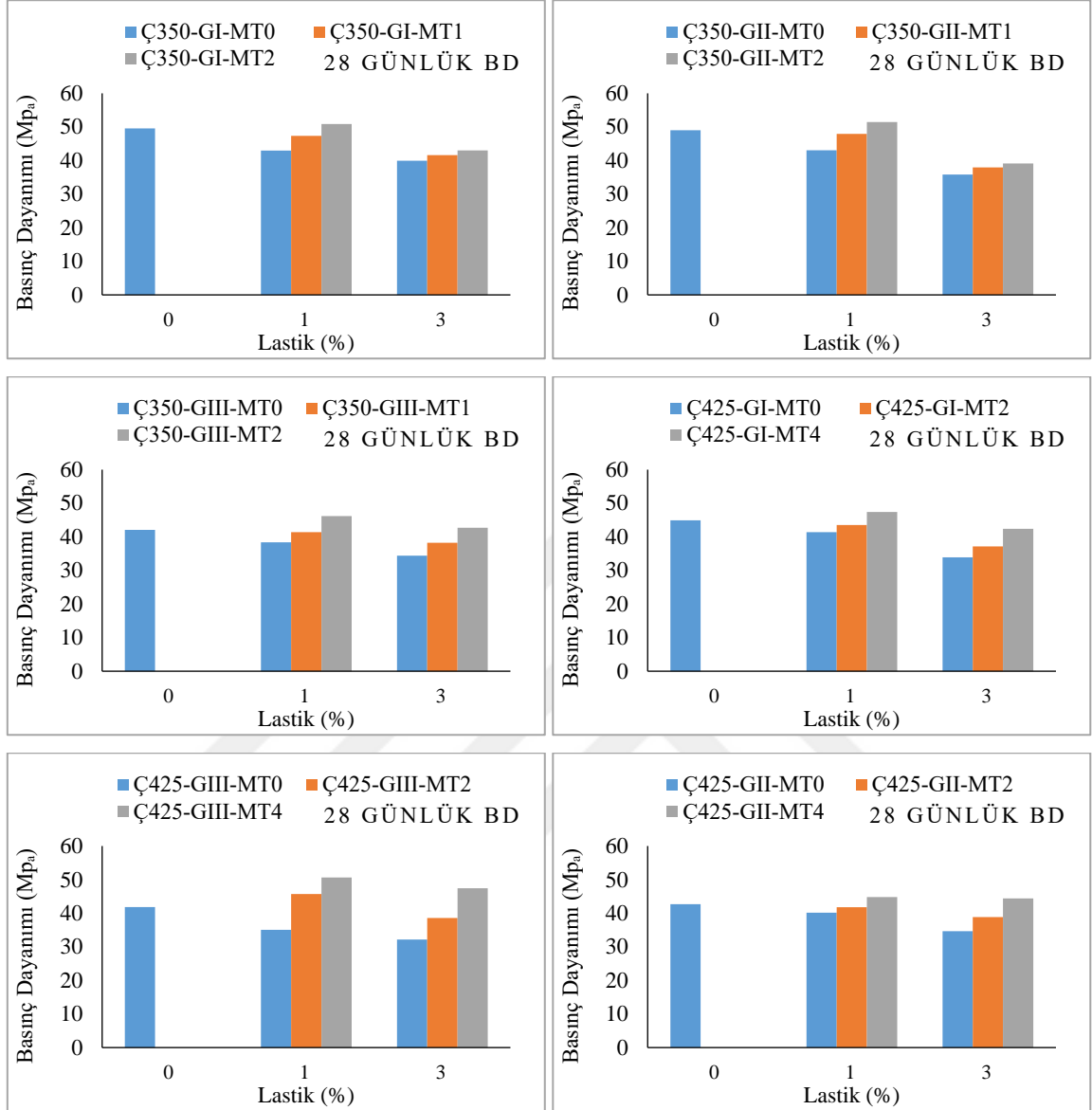
Şekil 4.8. Lastik, MT, Beton Yaşı ve 3 Günlük Basınç Dayanımı Arasındaki İlişisine Göre Grafik Çizimi

7 Günlük Basınç Dayanımı Sonuçları (150x150x150)



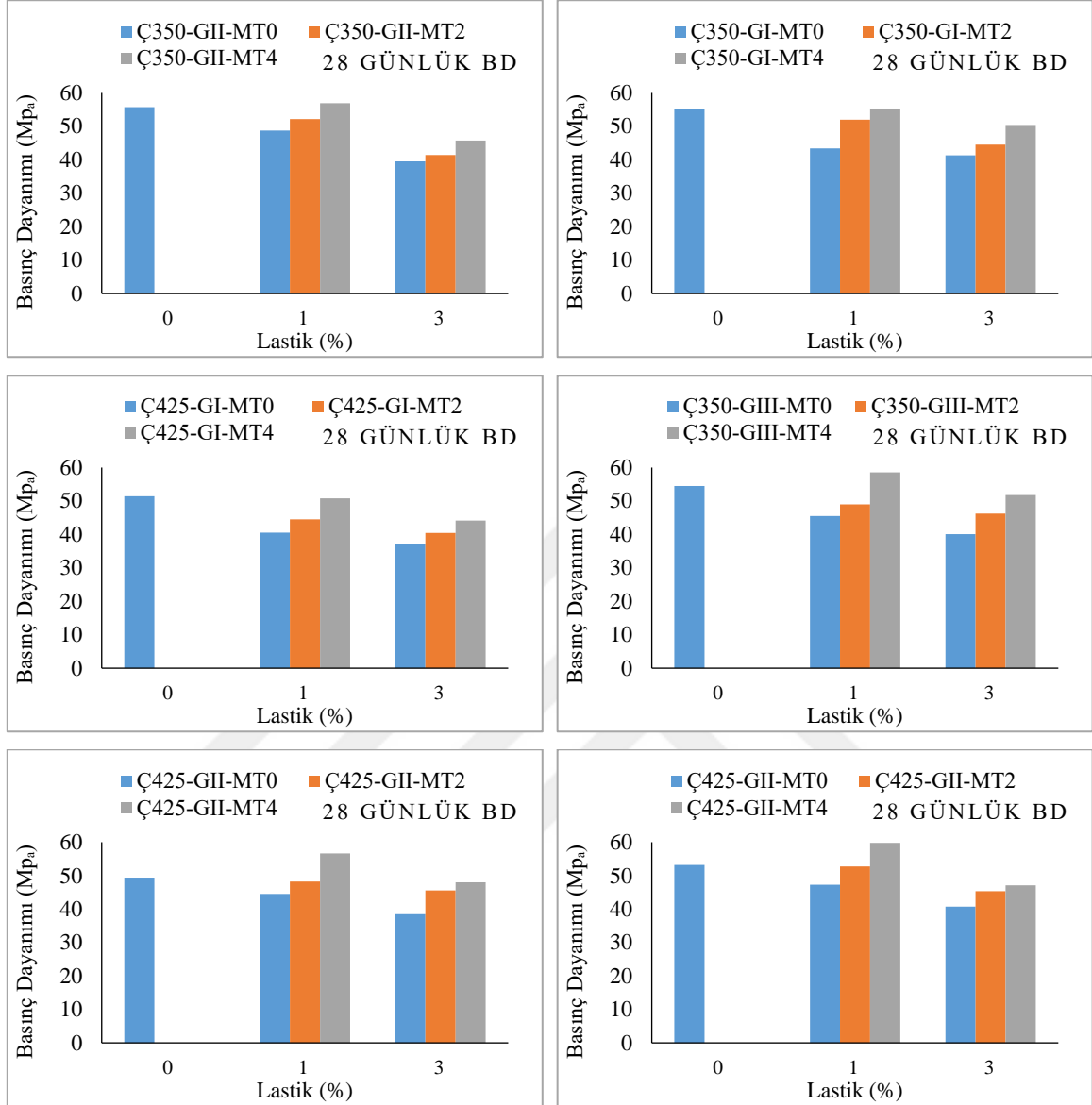
Şekil 4.9. Lastik, MT, Beton Yaşı ve 7 Günlük Basınç Dayanımı Arasındaki İlişisine Göre Grafik Çizimi

28 Günlük Basınç Dayanımı Sonuçları (150x150x150)



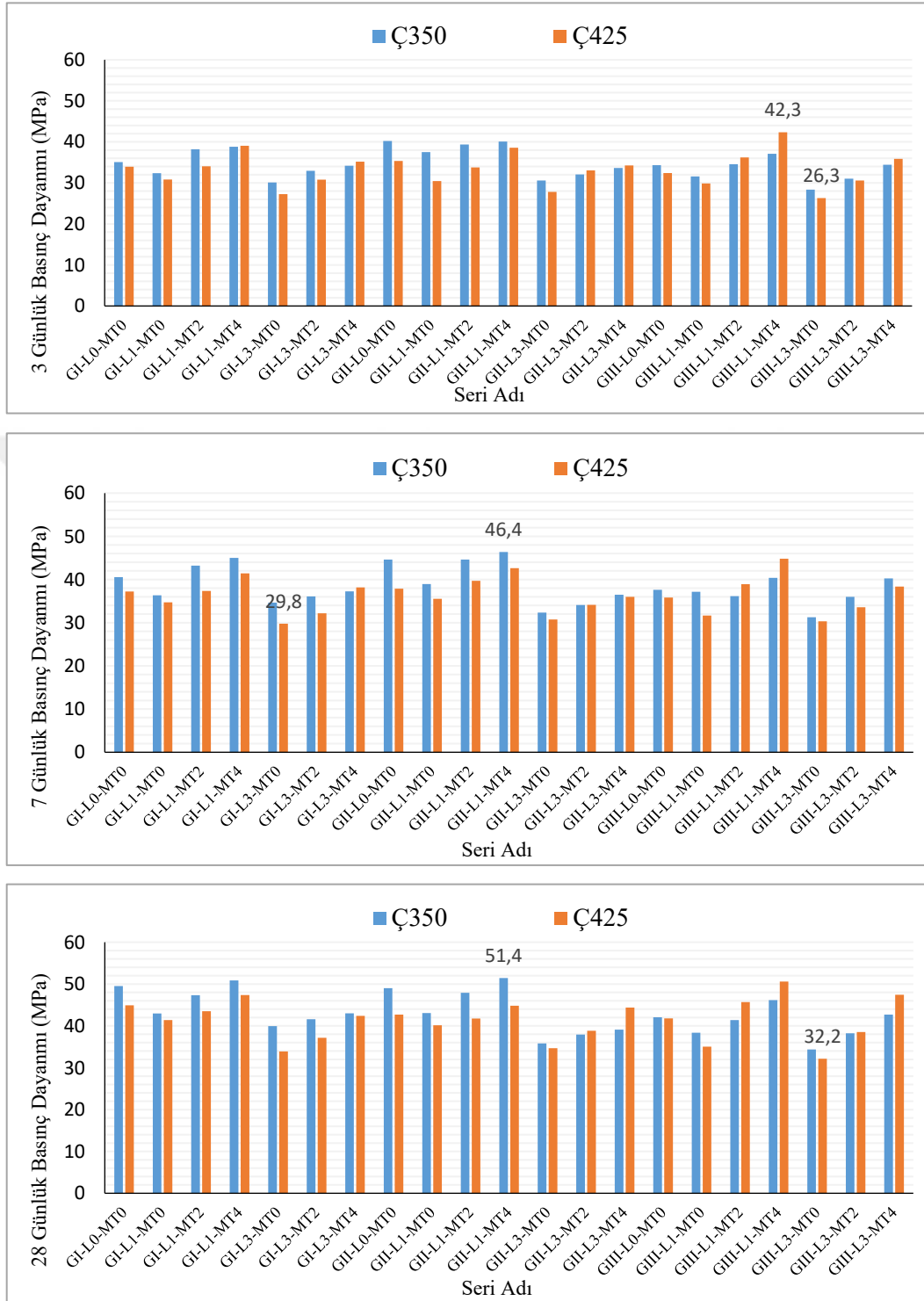
Şekil 4.10. Lastik, MT, Beton Yaşı ve 28 Günlük Basınç Dayanımı Arasındaki İlişisine Göre Grafik Çizimi

28 Günlük Basınç Dayanımı Sonuçları (100x100x100)



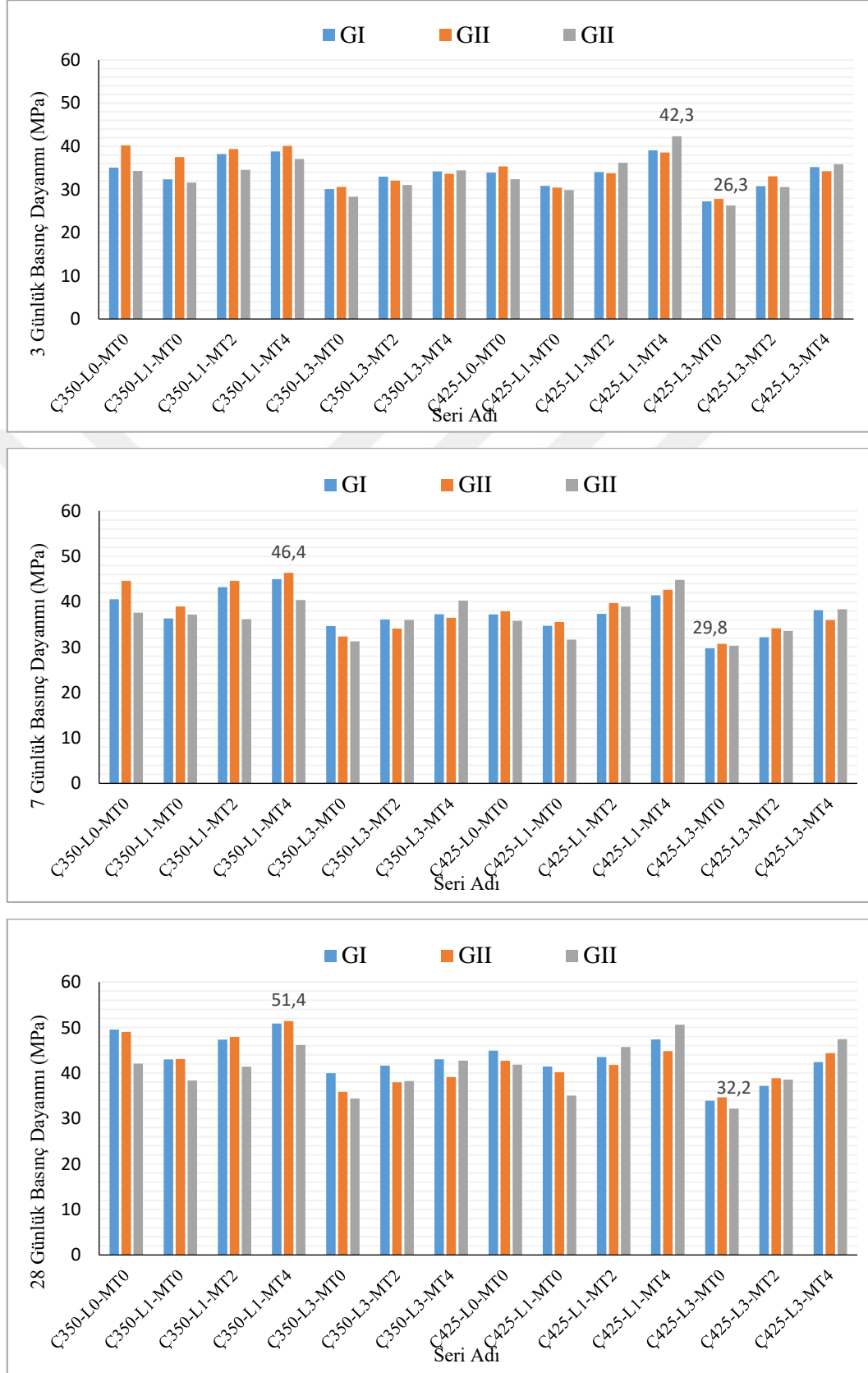
Şekil 4.11. Lastik, MT, Beton Yaşı ve 28 Günlük Basınç Dayanımı Arasındaki İlişisine Göre Grafik Çizimi

Çimento Dozajı ve Agrega Granülometrilere Göre Basınç Dayanımı Değişimleri



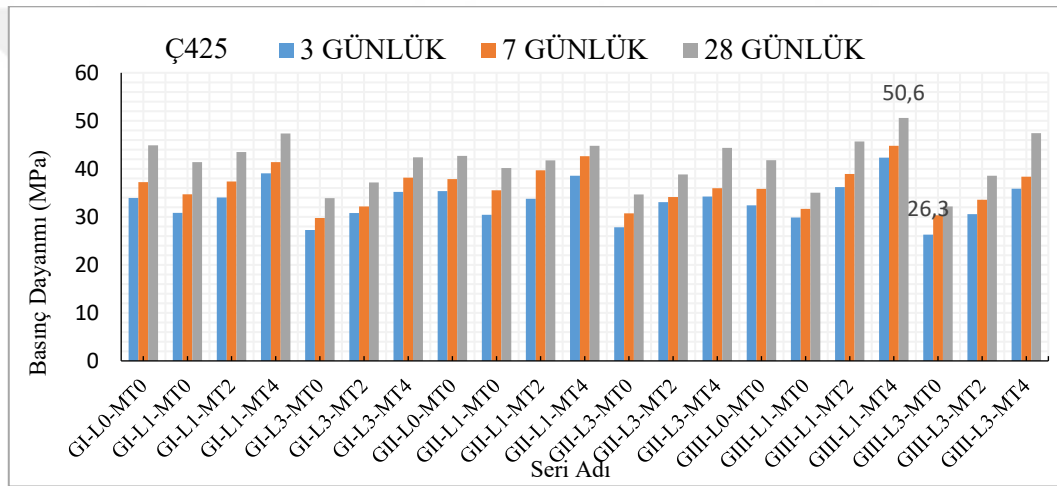
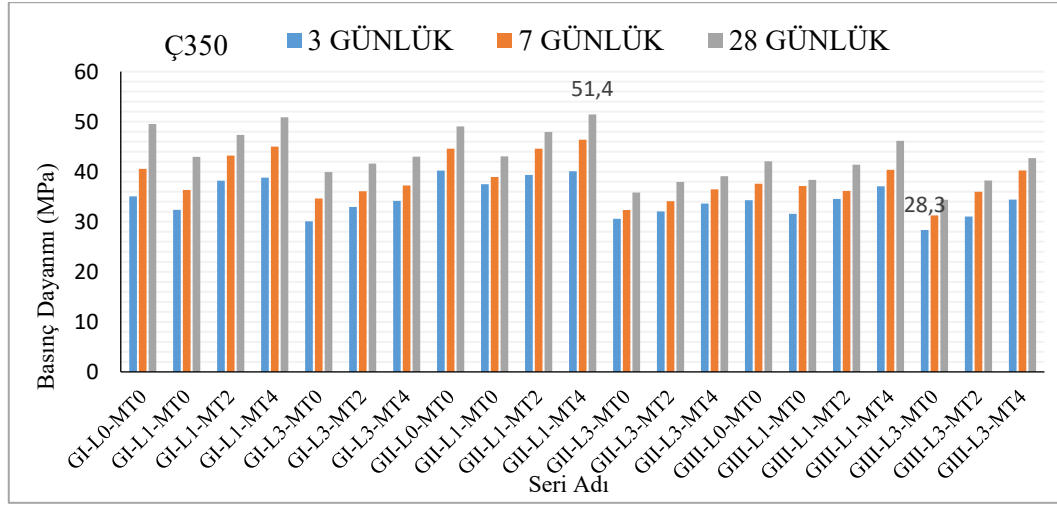
Şekil 4.12. Çimento Dozajı ve Agrega Granülometrilere Göre Basınç Dayanımı Değişimleri Grafik Çizimi

Agrega Granülometrilerine Göre Basınç Dayanımı Değişimleri



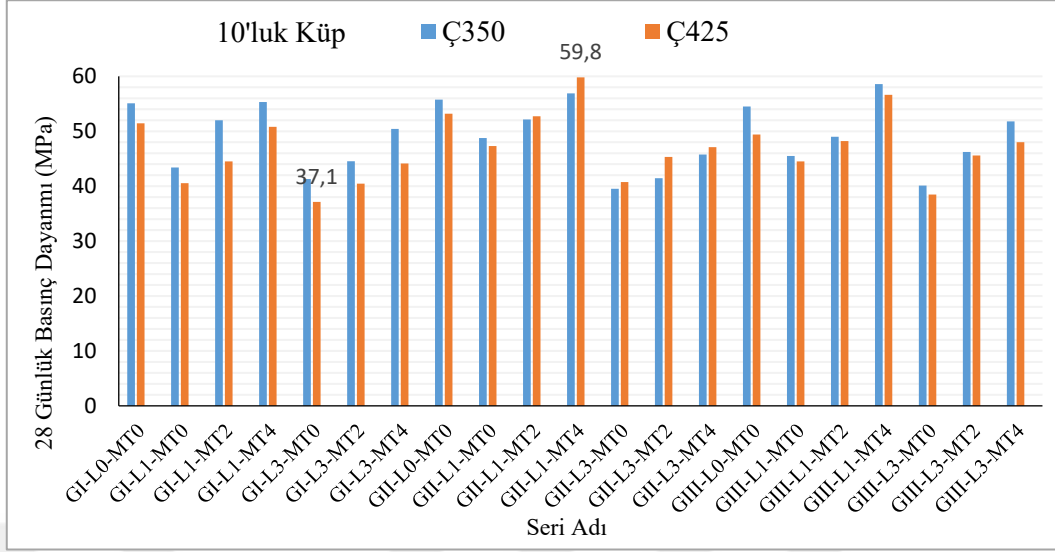
Şekil 4.13. Agregra granülometrilerine göre basınç dayanımı değişimlerine göre grafik çizimi

Çimento Dozajlarına Göre Basınç Dayanımı Değişimler



Şekil 4.14. Günlük çimento dozajlarına göre basınç dayanımı değişimlerine göre grafik çizimi

100 mm'lik Küp Numune



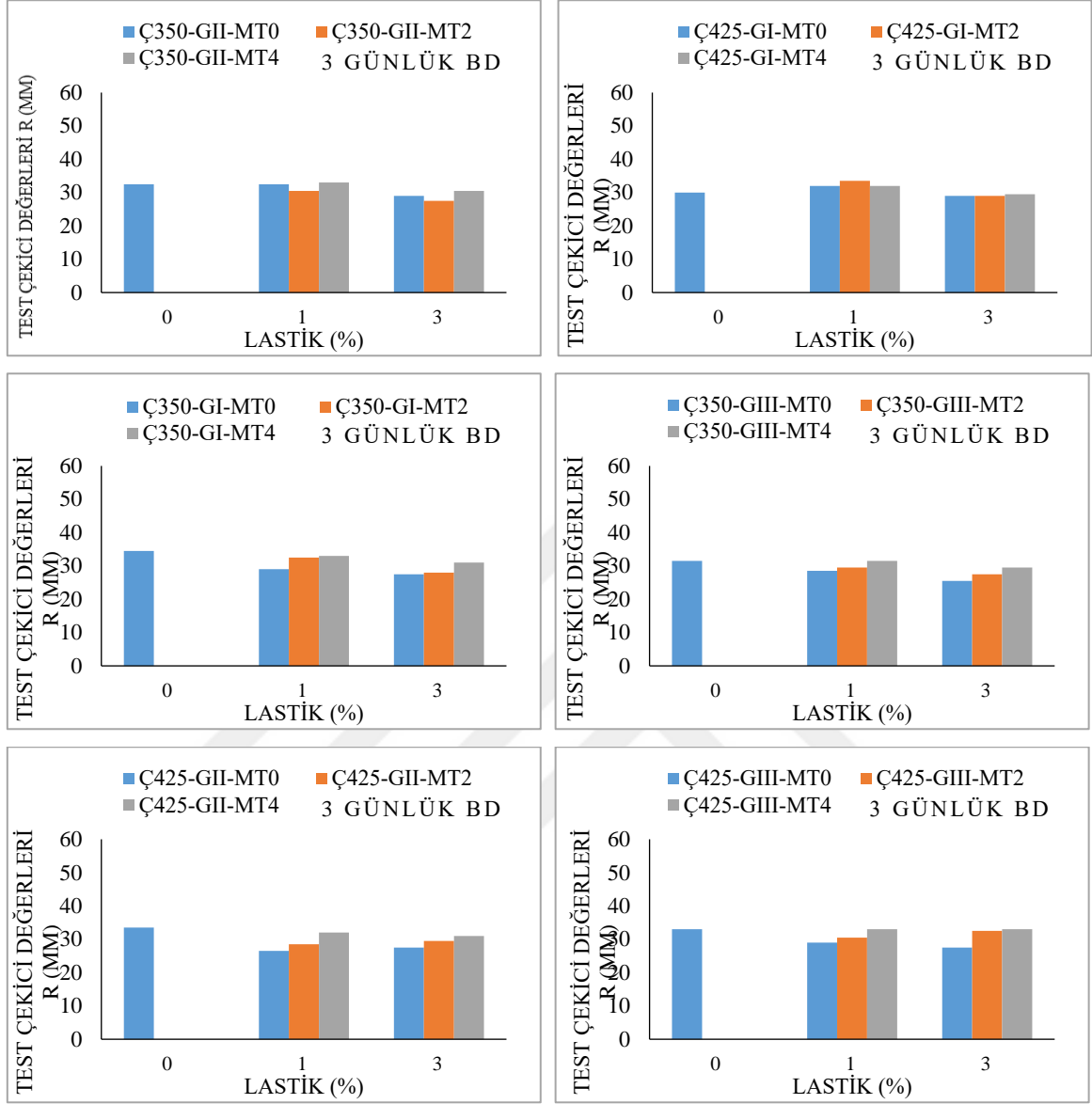
Şekil 4.15.100 mm'lik küp numune lastik, MT, beton yaşı ve basınç dayanımı arasındaki ilişkisine göre grafik çizimi

4.1.4. Test Çekici

Yaptığımız çalışmalarda kullandığımız test çekici (Schmidt Rebound Hammer Testi) tahribatsız test yöntemlerinden biridir. Çoğunlukla yapılan betonarme binaları denetlemek için kullanılır. Denetleme sırasında elde edilen verilere göre binaların dayanım ve dayanıklılığı hakkında bilgi edinmiş oluruz.

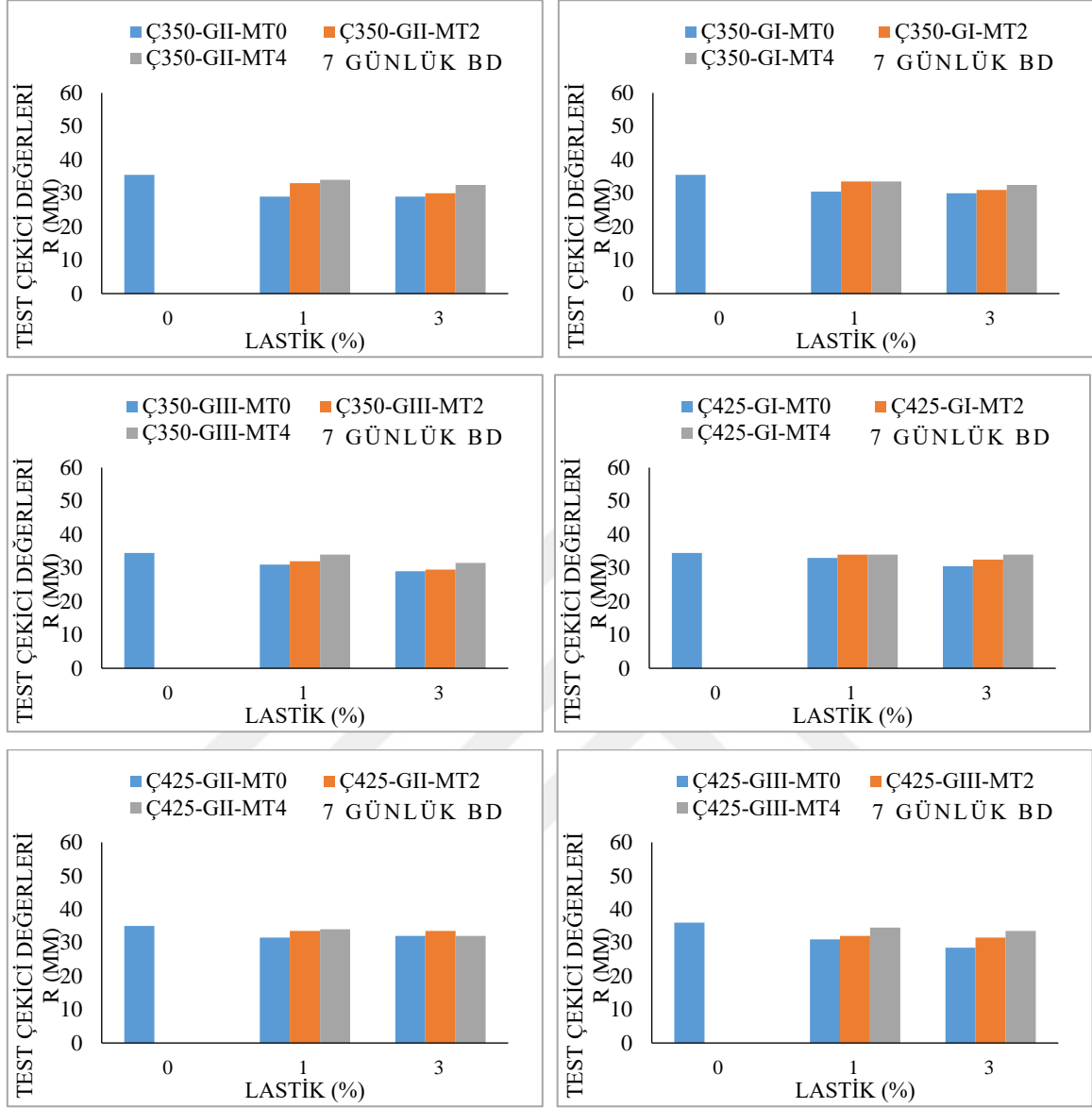
Yapılan çalışmaların sonucunda elde edilen R verilerini Şekil 4.16,4.17,4.18 grafik çizimine göre değerlendirecek olursak, lastik oranı ve çimento dozajının artması R değerini düşürdüğünü, mermer tozunun, agrega granülometrisindeki ince malzemenin (GI) ancak Ç420 olduğunda ise agrega granülometrisindeki iri malzemenin (GIII) artması ile R değerlerinin yükseldiği görülmektedir. R değerlerinin yükselmesi üretilen betonun boşluk oranının azalması anlamına gelmektedir. Buna bağlı olarak boşluk oranının azalması üretilen betonun dayanım ve dayanıklı olduğunun göstermektedir.

3 GÜNLÜK TEST ÇEKİCİ DENEYİ SONUÇLARI



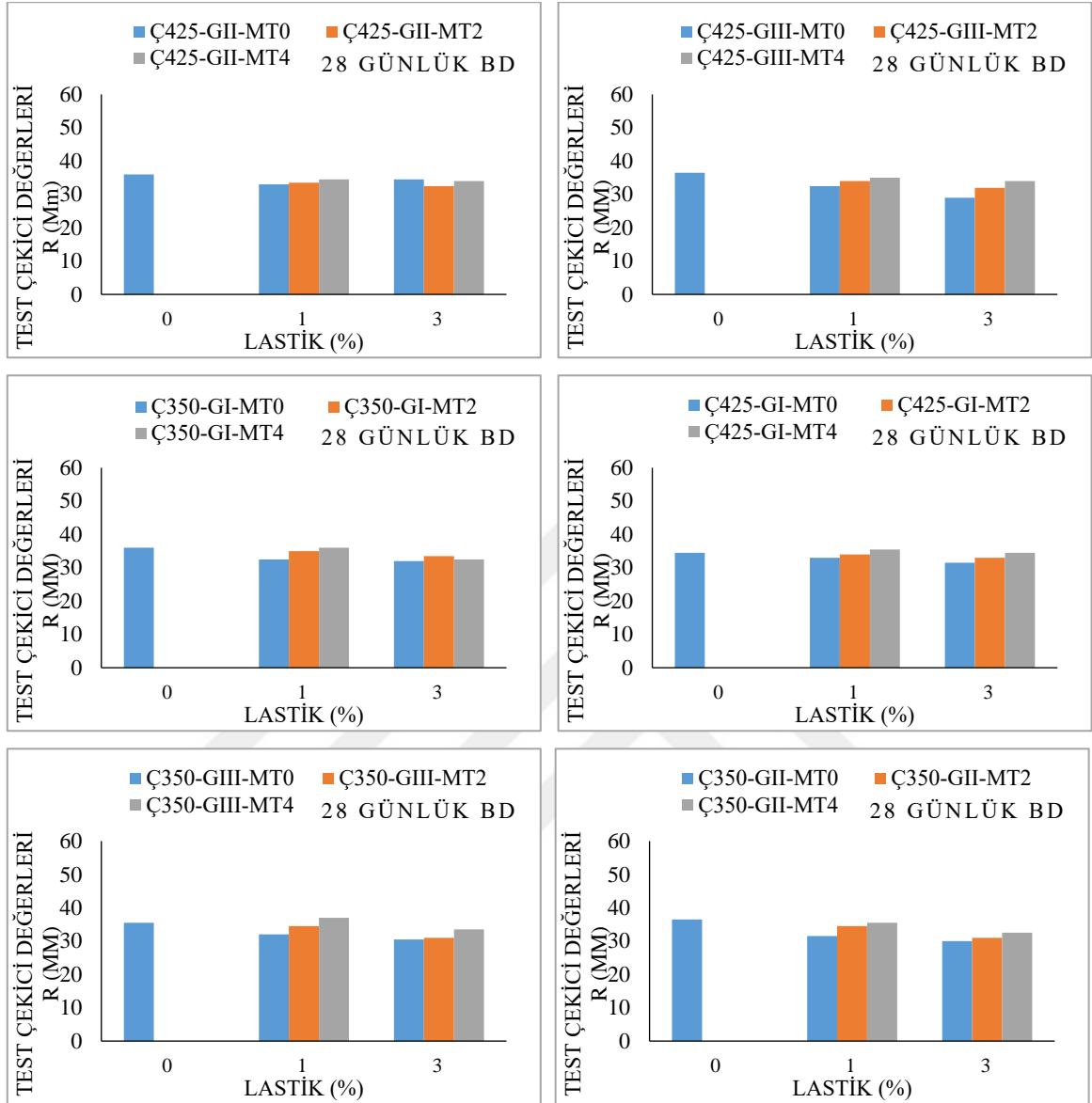
Şekil 4.16. MT ile lastik karışım oranı ve 3 günlük test çekici R değerlerine göre grafik çizimi

7 Günlük Test Çekici Deneyi Sonuçları



Şekil 4.17. MT ile lastik karışım oranı ve 7 günlük test çekici R değerlerine göre grafik çizimi

28 Günlük Test Çekici Deney Sonuçları



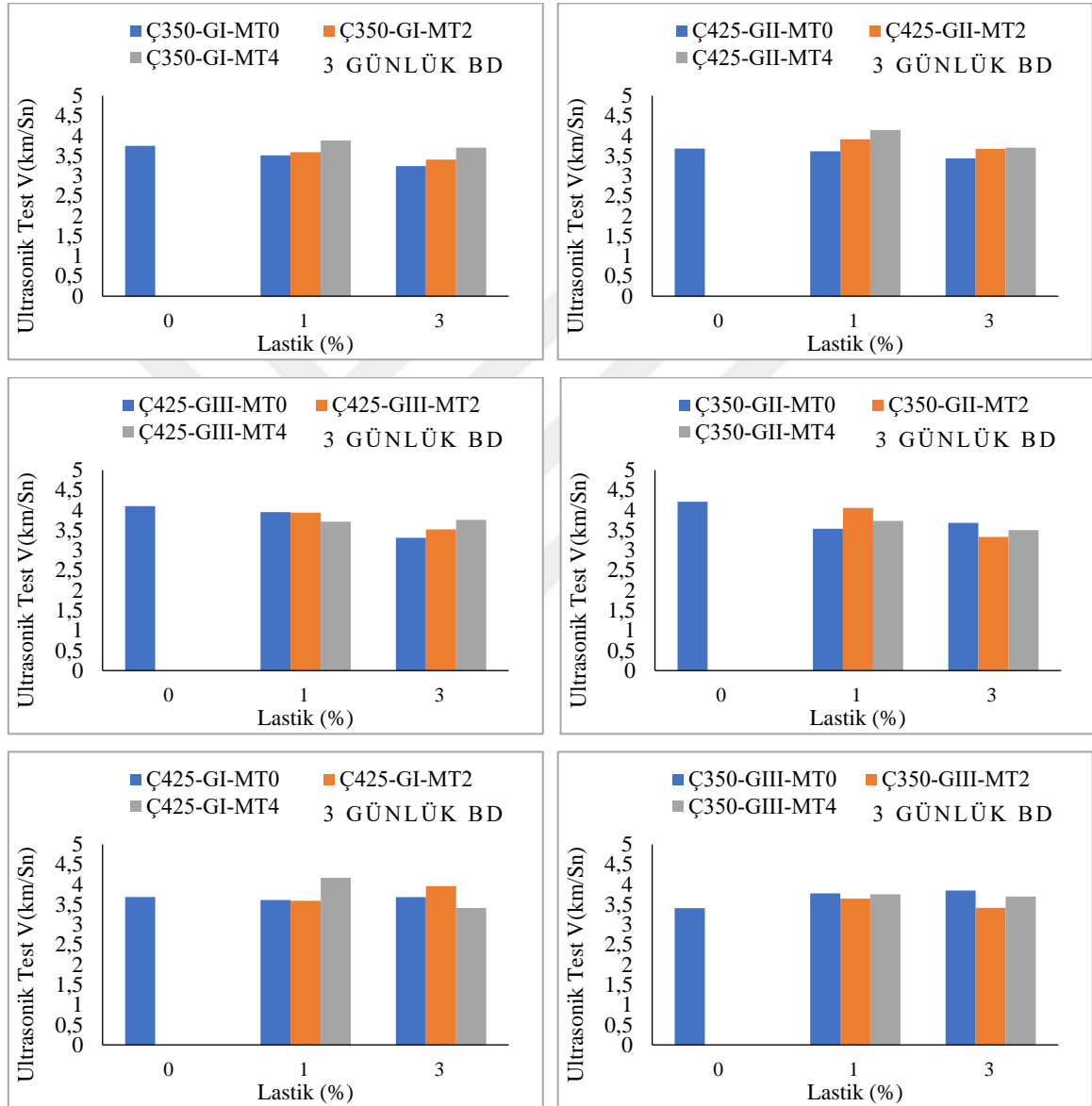
Şekil 4.18. MT ile lastik karışım oranı ve 28 günlük test çekici R değerlerine göre grafik çizimi

4.1.5. Ultrases Geçiş Hızı

Ultrases geçiş hız testi de test çekici gibi bir diğer tahribatsız test yöntemlerinden biridir. Bu test yöntemi ile elde edilen veriler Şekil 4.19,4.20,4.21'e göre değerlendirilmelere bakarak, lastik oranının artması ve aynı zamanda mermer tozu miktarı arttıkça bazı oranlarda ultrases dalga geçiş hız değerlerini arttırsa da genel olarak R değerini düşürmektedir. Benzer şekilde agraga granülometrisindeki ince malzeme ve çimento dozajının oranı arttıkça da ultrases dalga geçiş hız değerleri düşmektedir. R değerinin düşmesi betonun içerisindeki boşluk oranı ile doğru orantılıdır.

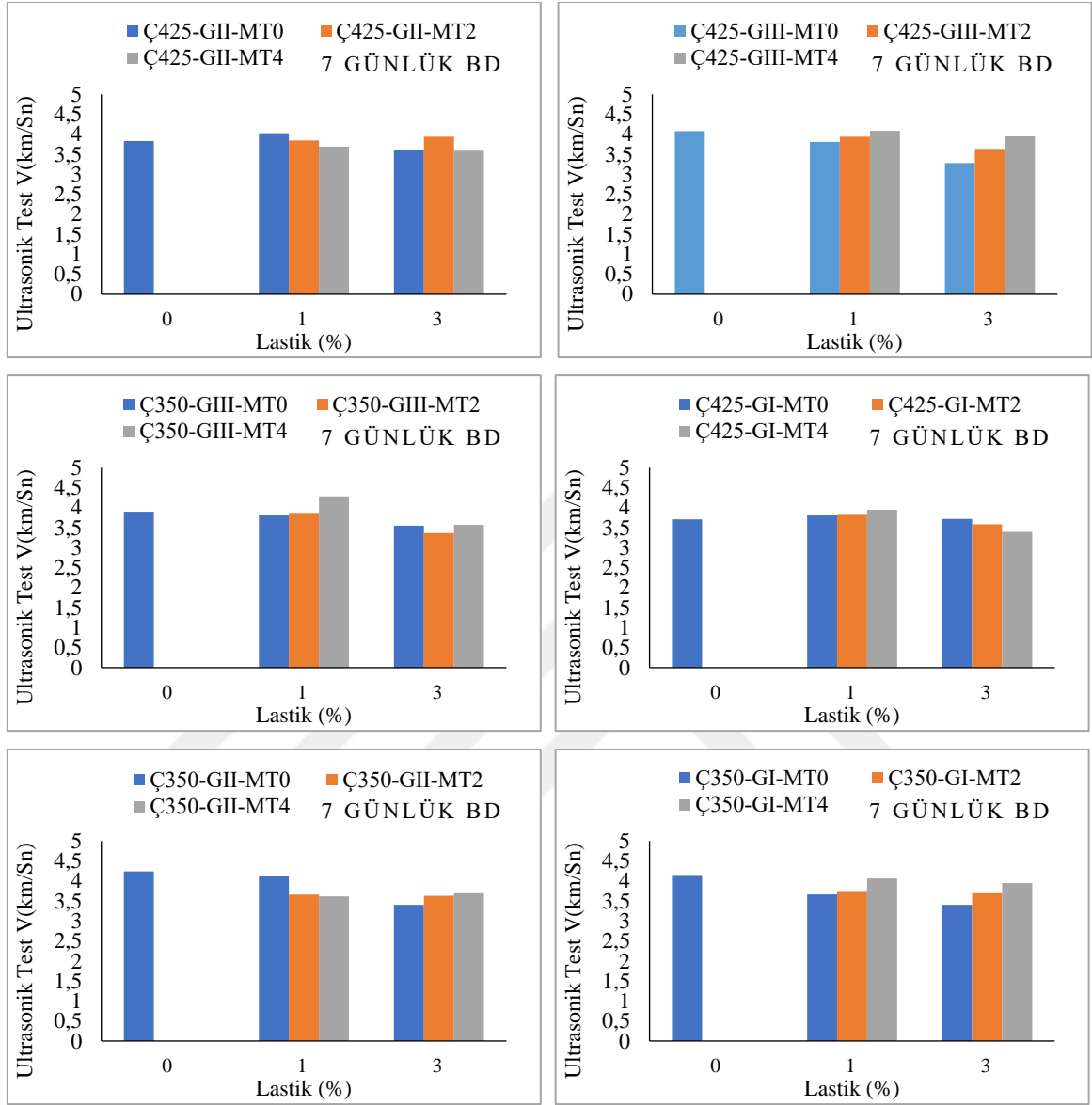
Yani betondaki boşluk oranı ne kadar fazla olursa ultrases geçiş dalga hızı, gönderici transetörden alıcı transetöre o kadar geç iletilecek demektir. Ultrases geçiş dalga hızının geç iletilmesi de betonun boşluk oranının fazla olması anlamına gelir. Boşluk oranının fazla olması ise üretilen betonun dayanım ve dayanıklı olmadığını ifade etmektedir.

3 Günlük Ultrasonik Deney Sonuçları



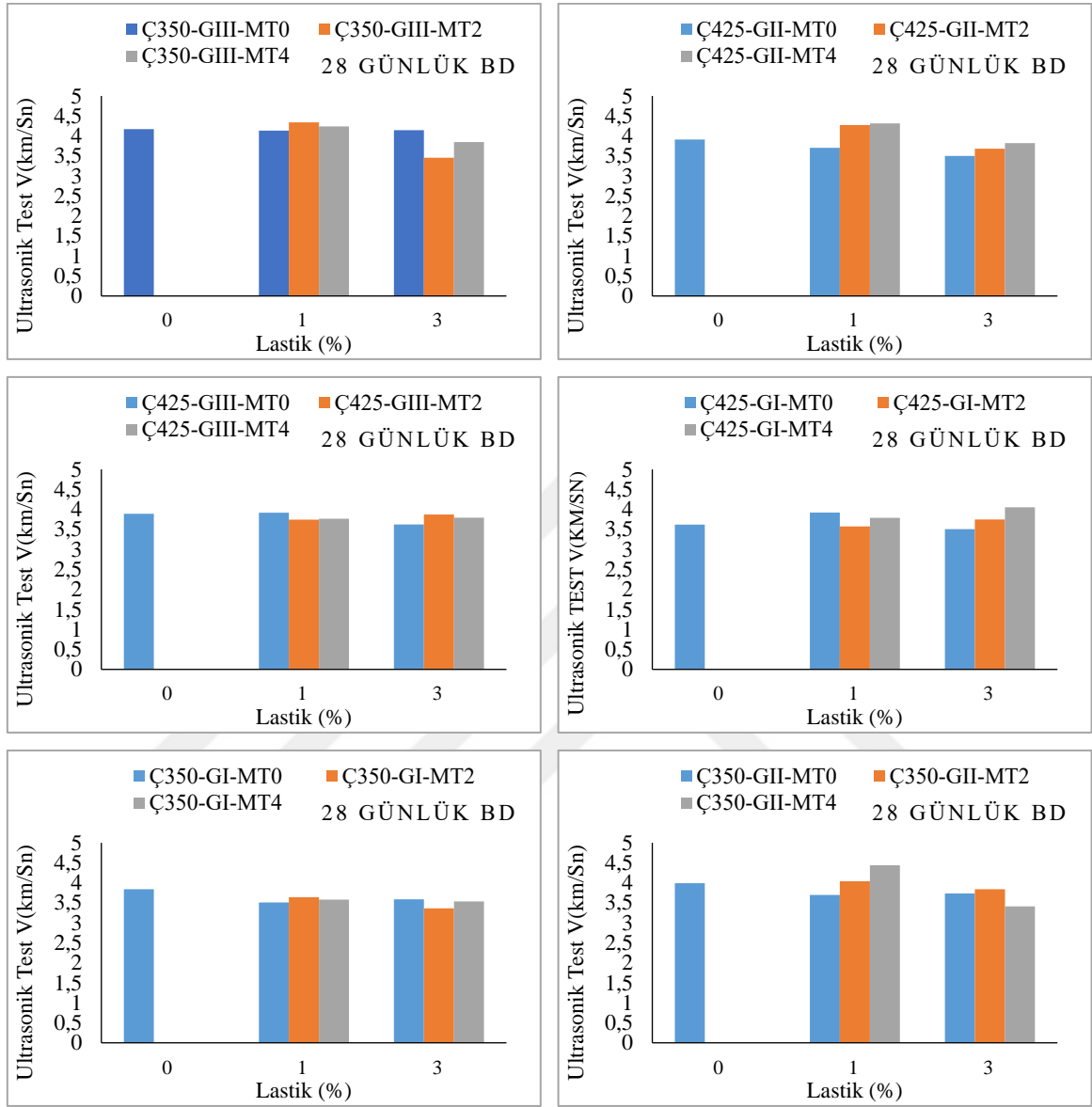
Şekil 4.19. MT ile lastik karışım oranına ve 3 günlük ultrases geçiş dalga hızı V değerlerine göre grafik çizimi

7 Günlük Ultrasonik Deney Sonuçları



Şekil 4.20. MT ile lastik karışım oranına ve 7 günlük ultrases geçiş dalga hızı V değerlerine göre grafik çizimi

28 Günlük Ultrasonik Deney Sonuçları

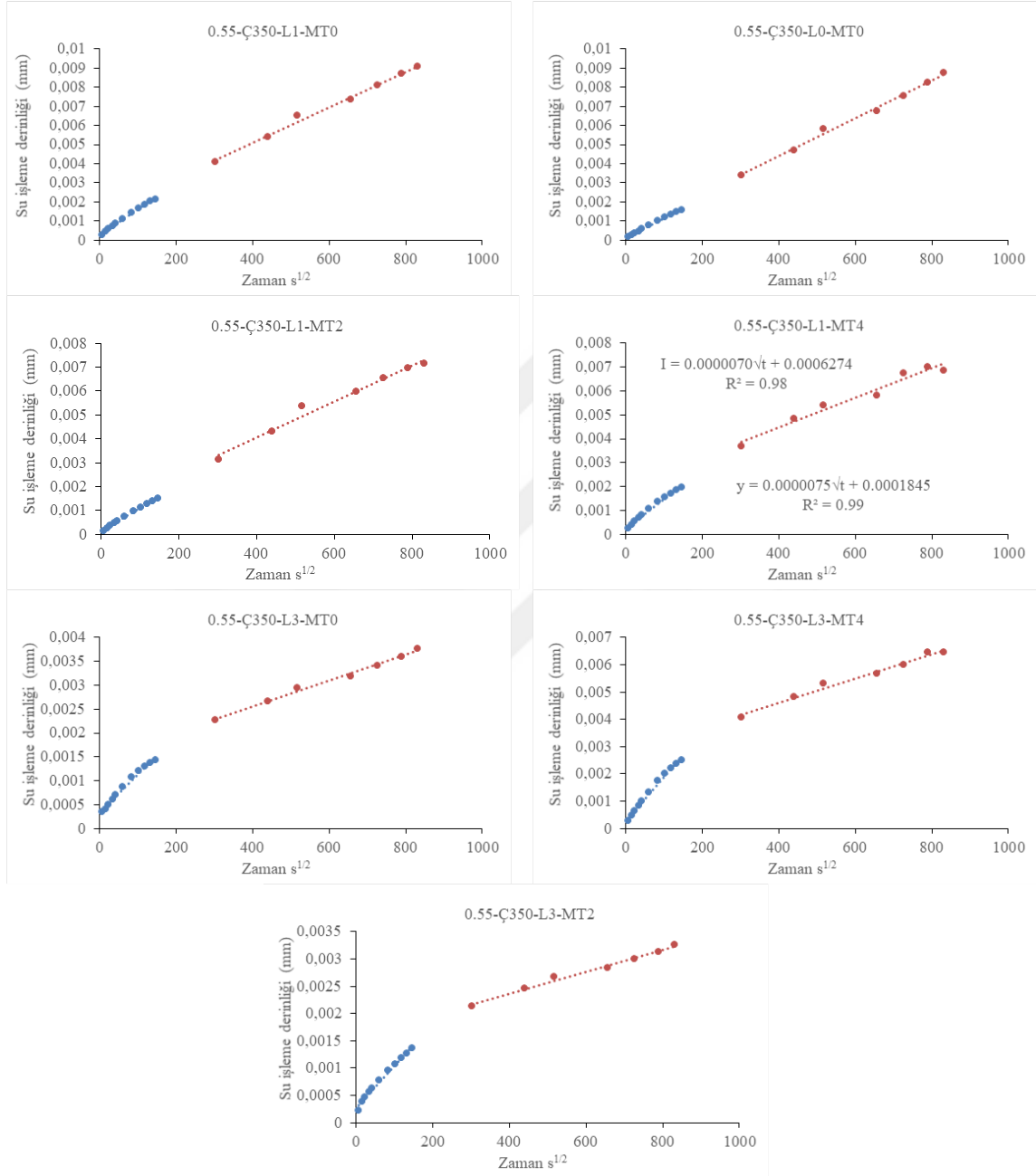


Şekil 4.21 MT ile lastik karışım oranına ve 28 günlük ultrases geçiş dalgı hızı V değęerlerine göre grafik çizimi

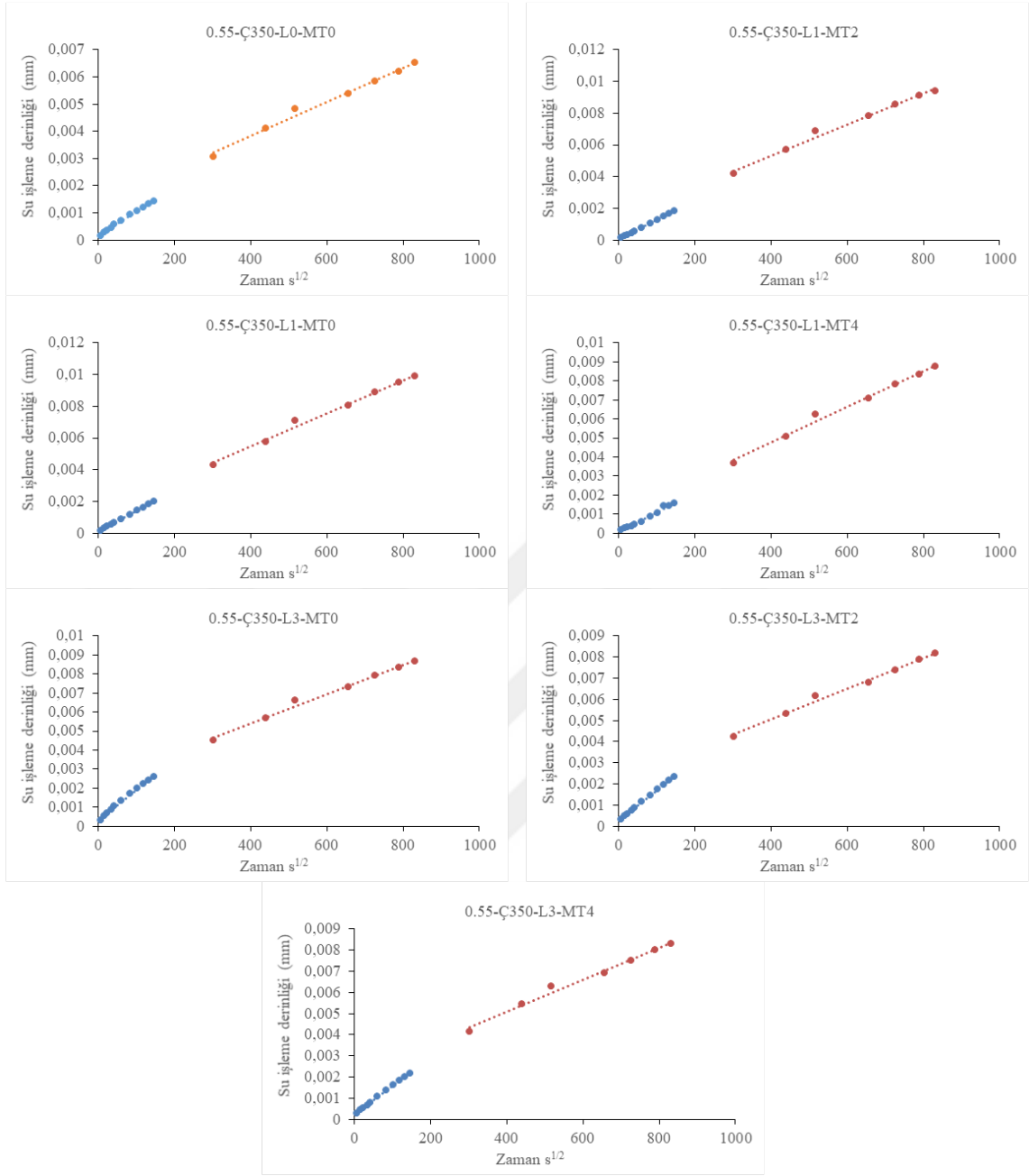
4.1.6. Permeabilite (Kılcallık)

Yapılan çalışmanın permeabilite değęerleri ile elde edilen grafik çizimini inceleyecek olursak, lastik oranı arttıkça çoğunlukla su işleme derinliğini artırır, mermer tozu oranının artması ile kılcallık yani su işleme derinliği azalsa da bazı oranlarda arttırdığı da görölmektedir. Aynı şekilde agrega granüloetri değişimine göre ince malzemenin artması ile su işleme derinliğinin azalması görölmektedir. Bunun sebebi ise mermer tozu ile agrega karışımındaki ince malzeme oranı artan serilerde boşluk oranı azalmıştır. Bunun açıklaması da bu şekilde yapılabilir, betonun su emme

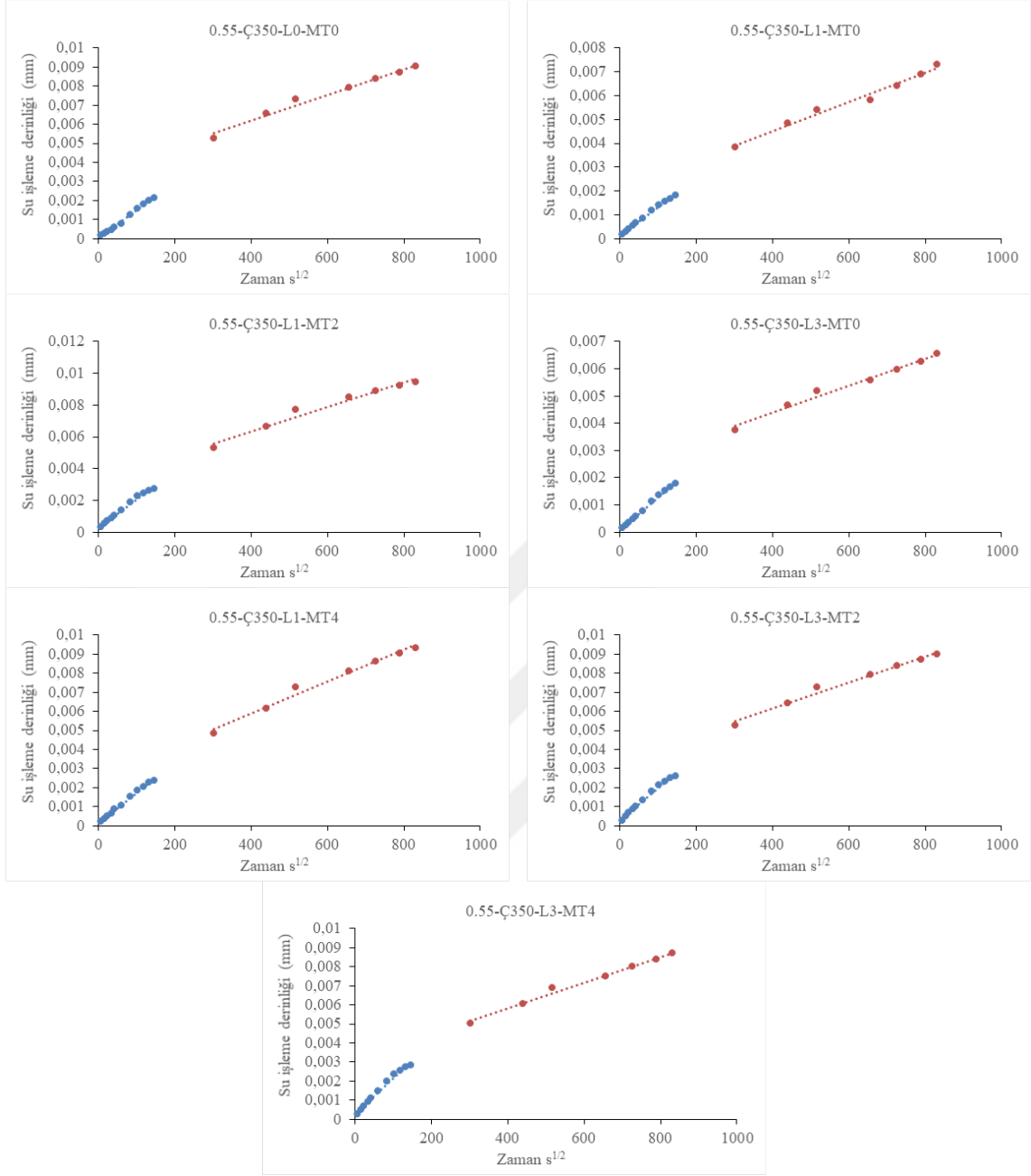
oranının veya su işleme derinliğinin az olması betonun sulu veya nemli ortamlarda olan dayanıklılığını ifade etmektedir. Yapılan değerlendirmeler şekil 4.22,4.23,4.24,4.25,4.26,4.27'e, göre yapılmıştır.



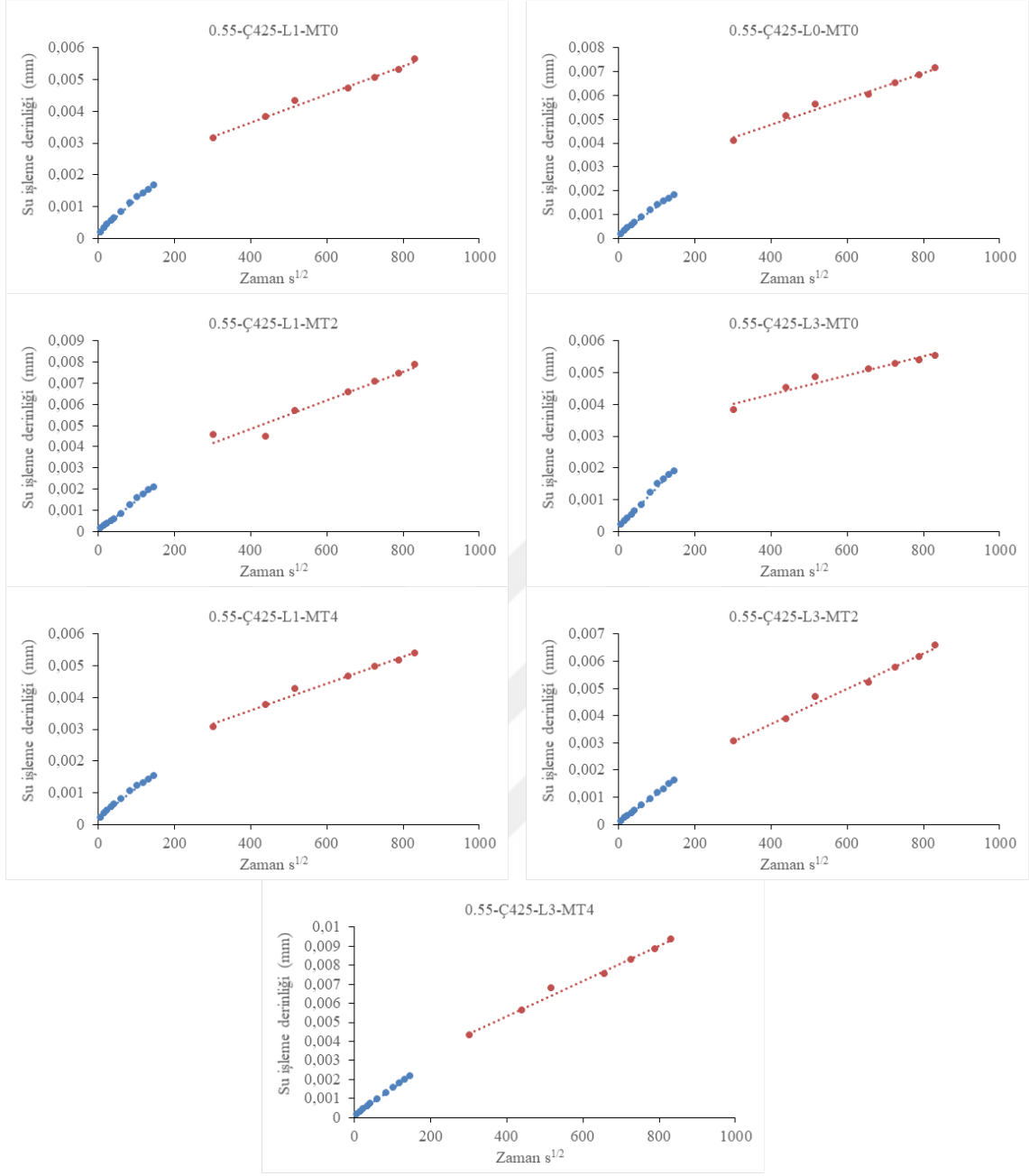
Şekil 4.22. Yapılan çalışmanın karışım-G1'e (%65 ince-%35 iri) ait 28 günlük permeabilite deneylerinin grafik çizimi çimento dozajı 350 (kg/m³)



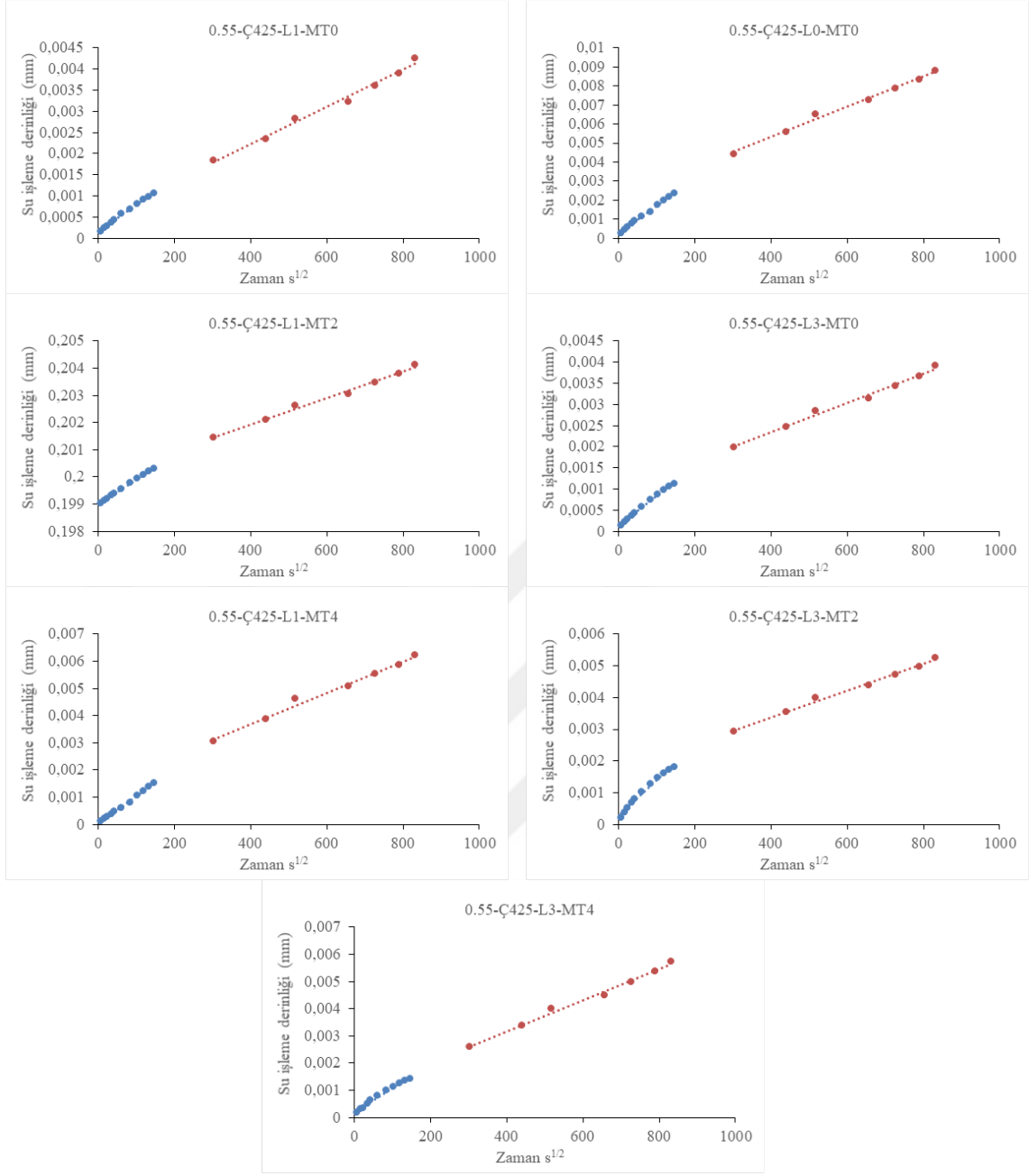
Şekil 4.23. Yapılan çalışmanın karışım-G2'ye (%55 ince-%45 iri) ait 28 günlük permeabilite deneylerinin grafik çizimi çimento dozajı 350 (kg/m³)



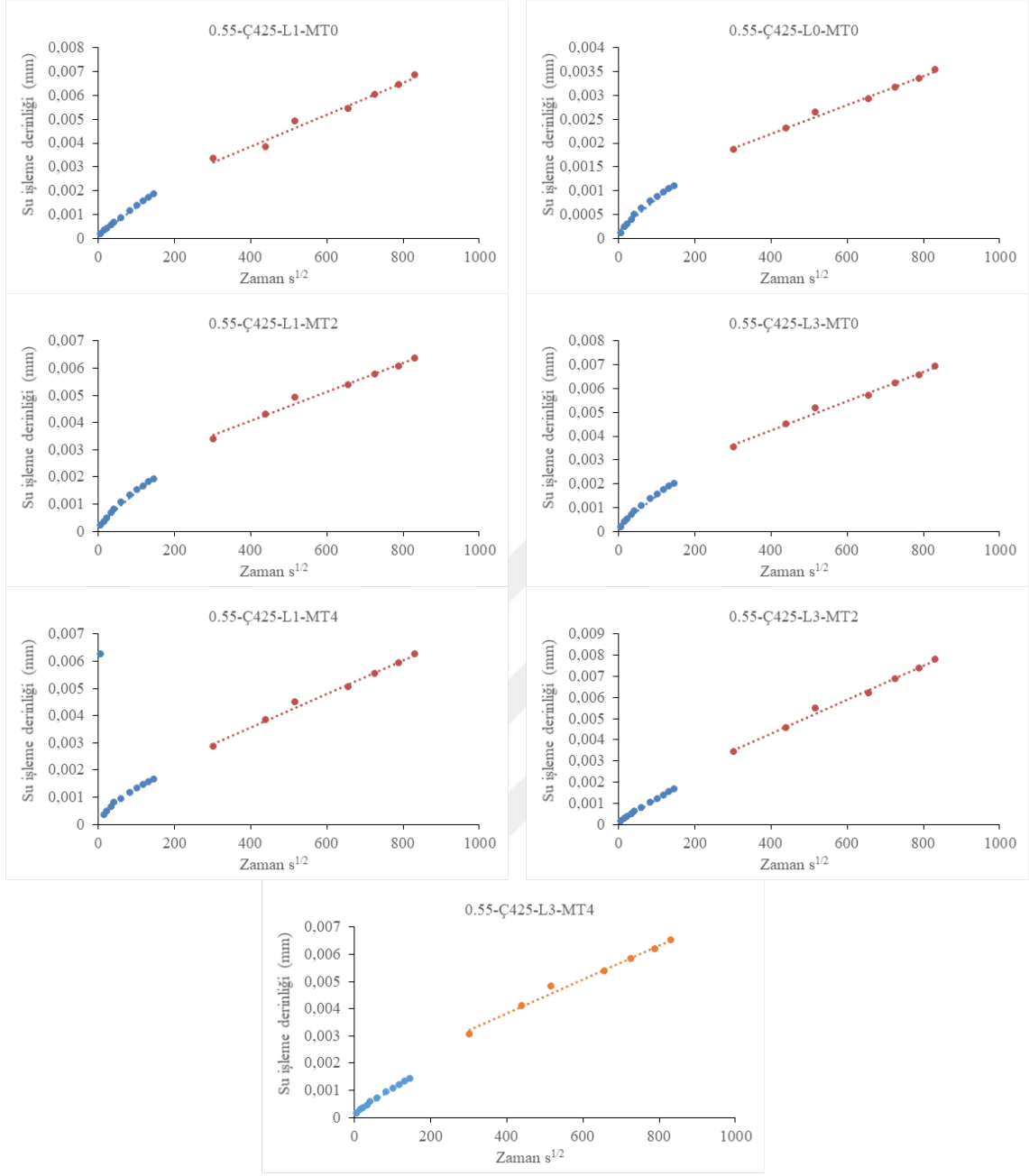
Şekil 4.24. Yapılan çalışmanın karışım-G3' e (%45 ince-%55 iri) ait 28 günlük permeabilite deneylerin grafik çizimi çimento dozajı 350 (kg/m³)



Şekil 4.25. Yapılan çalışmanın karışım-G1'e (%65 ince-%35 iri) ait 28 günlük permeabilite deneylerinin grafik çizimi çimento dozajı 425 (kg/m³)



Şekil 4.26. Yapılan çalışmanın karışım-G2'ye (%55 ince-%45 iri) ait 28 günlük permeabilite deneylerinin grafik çizimi çimento dozajı 425 (kg/m³)

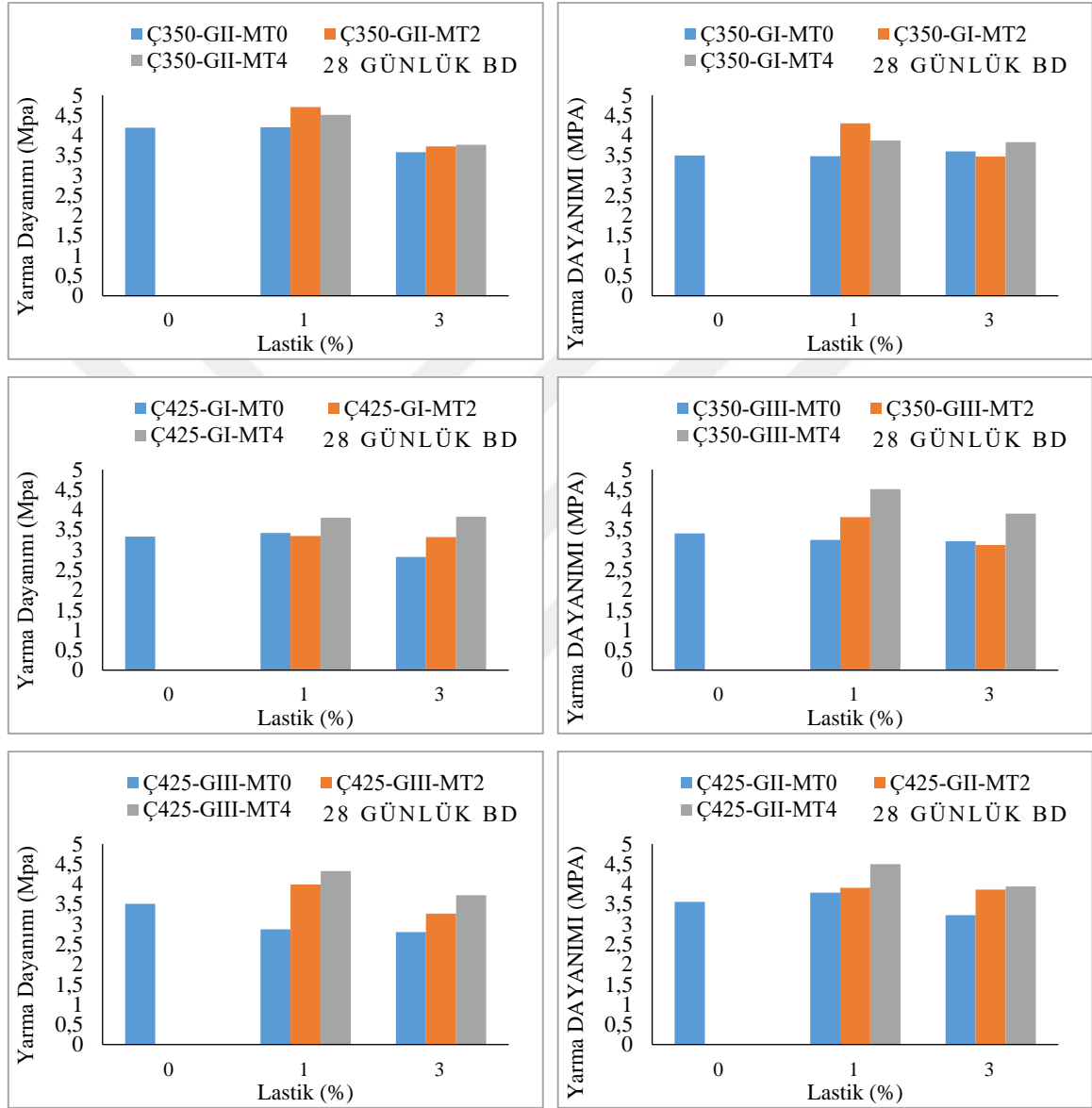


Şekil 4.27. Yapılan çalışmanın karışım-G3' e (%45 ince-%55 iri) ait 28 günlük permeabilite deneylerinin grafik çizimi çimento dozajı 425 (kg/m³)

4.1.7. Yarma Testi

Yapılan çalışmanın yarmada çekme deneyi ile elde edilen verilerin grafiklerine göre incelediğimizde, üretilen referans numunelere göre lastik oranı ve çimento dozajı yüksek olan numunelerin yarma dayanımını düşürmektedir. Mermer tozu oranı, agrega karışımındaki ince malzemenin artması ve oranının iri malzemeye yakın bir oranda olması (%55 İnce-%45 iri yani

GII) yarmada çekme dayanımının arttığını görülmektedir. Bu artışın anlamı da üretilen numunenin kaliteli olduğunu gösterir buna bağlı olarak mermer tozunun beton dayanımına pozitif etki ettiğini gösterir. Şunu da unutmamalıyız ki elbette literatördeki mermer tozu ile yapılan çalışmalara baktığımızda belli bir orandan sonra düşüş göstermektedir.



Şekil 4.28. MT ile lastik karışım oranı ve 28 günlük yarma dayanımı değerlerine göre grafik çizimi

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında farklı karışım oranlarına sahip ve farklı atık malzemeler ile çevre dostu betonların üretilmesi ve bu malzemelerin üretilen betona olan etkisini görmek amaçlanmıştır. Bu amaçla deneysel çalışmalar yürütülmüştür. Yapılan adımda, mermer tozu, atık lastik agrega farklı agrega granülometrisi ve farklı çimento dozajları kullanılarak çevre dostu betonlar üretilmiştir. Tüm deneylere ait sonuçlar analiz edilmiş ve aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır: Birinci adım deneyler sonuçlarına bakarak çevre dostu beton üretiminde agrega granülometrisinin çok önemli olduğu görülmüştür. Agrega granülometrisinin doğru seçilmesi ve maksimum atık malzeme kullanım miktarının doğru tespit edilmesi beton dayanımında önemli bir rol oynamaktadır. Deneylerin bir diğer sonucunda hem mermer tozu hem de lastik agrega kullanılarak çevre dostu beton üretmenin mümkün olduğu belirlenmiştir. Bunlara göre ise sonuç ve önerileri aşağıdaki maddelere göre sıralayabiliriz.

1- Mermer tozu ve lastikle üretilen çevre dostu betonu, elde edilen çökme değerlerine göre lastik oranının artması ile slump değerlerinin düştüğü görülmektedir yani lastik oranları %1'den %3'e artmaya devam ettikçe, slump değerleri de düşmeye devam etmektedir. Ancak atık mermer tozu belli bir orana kadar slump değerlerini artırmaktadır ve o oran artmaya devam ettikçe mermer tozu topaklanma özelliğine sahip olması nedeniyle slump değerlerini azaltmaktadır. Bu nedenle slump değeri düştükçe üretilen betonun işlenebilirliği de azalacaktır.

2- Üretilen çevre dostu betonun birim hacim ağırlığına mermer tozunun ve lastiğin nasıl bir etkide bulunduğunu değerlendirdiğimiz zaman referans numunelere göre mermer tozu olan numunelerin birim hacim ağırlıkları artmaktadır ancak lastiğin birim hacim ağırlığı azalmaktadır. Bu artış mermer tozu oranının artışı ile artış göstermektedir lastik oranı arttıkça da azalma göstermektedir. Bunun anlamı ise ağırlığın artması ise üretilen betonun boşluk oranının azalması demektir. Bu da dayanımın da artması anlamındadır.

3- Yapılan çalışmada mermer tozu ve lastik ile üretilen çevre dostu betonun kalitesinin belirlenmesini en önemli testlerden biri de basınç testi ile elde ettiğimiz verilere göre değerlendirdiğimizde; Üretilen çevre dostu betonun referans değeri dikkate alarak baktığımızda zamana bağlı olarak dayanımlarının artacağı ve mermer tozunun beton karışımında belli bir miktara kadar olumsuz etkisinin olmadığı söylenebilir ancak lastik oranının ise dayanımı düşürdüğünü söyleyebiliriz.

4- Elde edilen geri sıçrama (test çekici) değerlerine göre üretilen çevre dostu betonunu incelersek referans numunelere göre Lastik oranı R değerini düşürdüğünü, mermer tozu ile R değerlerinin yükseldiği görülmektedir. R değerlerinin yükselmesi üretilen betonun boşluk oranının azalması anlamına gelmektedir. Buna bağlı olarak boşluk oranının azalması üretilen betonun dayanım ve dayanıklı olduğunun göstermektedir.

Böylece de mermer tozunun betonda kullanımının herhangi bir olumsuz etkisi olmadığına göstergesidir.

5- Yapılan çalışmada üretilen çevre dostu betonların ultrases geçiş dalga hızı testi ile elde edilen verilerine bakıldığında, lastik oranının artması ve aynı zamanda mermer tozu miktarı arttıkça bazı oranlarda ultrases dalga geçiş hız değerlerini arttırsa da genel olarak hız değerini düşürmektedir. Bunun sebebi ise üretilen numunelerin boşluk oranına bağlıdır, boşluk oranı az oldukça üretilen numuneler kendi bünyesinde az miktarda olsa hava bulundurlar. Ultrases geçiş dalga hızı, gönderici transetörden alıcı transetöre o kadar erken iletilecek demektir. Ayrıca mermer tozu ve lastik betondaki boşluğu azaltarak dayanıma olan olumlu etkisinin olduğunu göstermektedir.

6- Mermer tozunun ve lastik oranının, üretilen çevre dostu beton üzerindeki etkisini yarma deneyi ile elde ettiğimiz değerlere göre değerlendirerek baktığımızda lastik oranı yarma dayanımını düşürmektedir. Mermer tozu oranı yarmada çekme dayanımının arttığını görülmektedir. Bu artışın anlamı da üretilen numunenin kaliteli olduğunu gösterir anı zaman da buna bağlı olarak mermer tozunun beton dayanımına pozitif etkisi olduğunu ifade eder. Yani mermer tozunun beton karışımında ilave edilerek kullanılabilir olduğunu göstermektedir.

7- Üretilen betonun dayanım özelliklerini elde ettiğimiz yoğunluk değerlerine göre bakacak olursak yoğunluğun lastik oranı arttıkça yoğunluğun azaldığını, mermer tozu oranı arttıkça yoğunluğun arttığını görülmektedir. Bu artış ise seri üretilen betonun boşluk oranının azalması ile ters orantılıdır. Şunu diyebiliriz yoğunluk arttıkça boşluk oranı azalmaktadır. Bu da mermer tozunun üretilen çevre dostu betonun üzerindeki bir diğer pozitif etkisini göstermektedir.

8-Mermer tozu ve lastik ile üretilen çevre dostu betonun permeabilite değerlerine göre değerlendirildiğinde, lastik oranı arttıkça çoğunlukla su işleme derinliğini artırır, mermer tozu oranının artması ile kılcallık yani su işleme derinliği azalsa da bazı oranlarda arttırdığı da görülmektedir. Bunun nedeni, boşluk oranı azaldıkça dayanım artmış, su işleme derinliği azalmıştır. Bu sonuçları değerlendirecek olursak atık mermer tozunun beton karışımında kullanarak, çevre dostu betonun üretilmesinin mümkün olduğunu, betonun dayanımına ve kalitesine de pozitif etkisi olduğunu, çevre kirliliğini azaltarak doğada fayda sağladığını ve kaynakların az tüketilmesi ile ekonomik olarak katkı sağladığı söylenebilir. Ancak atık lastik için bunları söylememiz mümkün değil. Şunu da söyleyebiliriz; atık mermer tozuyla lastiğin birlikte kullanılması bazı değerleri sınırdan tutmamıza yardımcı olur. Bunun için de lastik ve mermer tozunu gerekli sınırdan tutmak beton kalitesi açısından oldukça önemlidir.

KAYNAKLAR

- [1] Özel, C., 2007, Katkılı Betonların Reolojik Özelliklerinin Taze Beton Deney Yöntemlerine Göre Belirlenmesi, Doktora Tezi, SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- [2] Erdoğan, T.Y., 2010, *Beton*. ODTÜ Yayıncılık, Ankara.
- [3] Bentz D.P. 2008, A Review of Early-Age Properties of Cement-Based Materials, *Cement and Concrete Research*, 38, 2, 196-204.
- [4] Özcan, A., 2006, Endüstriyel Atıklar ve Polipropilen Lif İçeren Saha Betonlarının Özelliklerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Karaelmas Üniversitesi, Zonguldak.
- [5] Mesci, B., Ergun, O. N., Çakıroğlu, M., 2007, Bakır Endüstri Atıklarının Beton Katkı Maddesi Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması, 2. Yapılarda Kimyasal katkıları Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Ankara, 299-309.
- [6] Sahin, S., Karaman, S., Örüng, I., 2007, Atık PVC Katkılı Hafif Betonların Özellikleri ve Tarımsal Yapılarda Kullanım Olanakları, *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi (Journal of Tekirdag Agricultural Faculty)*, 4, 2, 137-144.
- [7] Etxeberria, M., Pacheco, C., Meneses, J. M., Berridi, I., 2010, Properties of Concrete Using Metallurgical Industrial By-Products as Aggregates, *Construction and Building Materials*, 24, 1594–1600.
- [8] Galvão, j. C. A., Portella, K. F., Joukoski, A., Mendes, R., Ferreira, E. S., 2010. “Use of Waste Polymers in Concrete for Repair of Dam Hydraulic Surfaces”, *Construction and Building Materials*.
- [9] Hebhouh, H., Aoun, H., Belachia, M., Houari, H., Ghorbel, E., 2010. “Use of Waste Marble Aggregates in Concrete Construction and Building Materials”.
- [10] Özel, C., Filiz, M., Sevinç, A. ve Kiran, C., 2011, Betonda Fiber Katkı Olarak Polietilen Tereftalatın Kullanılabilirliğinin Araştırılması, *SDU International Technologic Science*, 3, 2, 17-28.
- [11] Ch. Abhinay, M. Vasudeva Naidu., 2015, Experimental Investigations On Eco Friendly Concrete, *International Journal of Research Sciences and Advanced Engineering [IJRSAE]TM Volume 2, Issue 10, 12-16.*
- [12] EFNARC, (2002), Specifications and Guidelines for Self-Compacting Concrete. EFNARC, Association House, 99 West Street, Farnham, UK, www.efnarc.org, ISBN 0 953973344, 32p.
- [13] Alyamaç, K.E., 2008, Kendiliğinden Yerleşen Betonun Lineer Olmayan Kırılma Mekanizması Prensipleriyle İncelenmesi, Doktora tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 129s.
- [14] Emiroğlu, 2006, Atık Taşı Lastiğinin Beton İçerisinde Kullanımı Ve Betonun Karakteristiklerine Etkisi, Yüksek lisans tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 84s.
- [15] Akbulut H., Gürer C., 2003, Mermer Atıklarının Çevresel Etkileri ve Yol Katmanlarında Tekrar Kullanım İmkanları, Türkiye IV. Mermer Sempozyumu Bildiriler Kitabı Afyonkarahisar.
- [16] Beycioğlu A., Başyigit C., Subaşı S., 2008, Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanımı İle Geri Kazanılması ve Çevresel Etkilerin Azaltılması, Çevre Sorunlar Sempozyumu, 1386-1394, Kocaeli.
- [17] Ünal, Uygunoglu, A.K.Ü., 2004, Evaluation Of Soma Thermic Power Plant Waste Fly Ash In The Construction Sector” *Proceedings of the 14 th Tın key Coal Congress, Zonguldak, Turkey.*
- [18] Tokyay, M. (1989) Uçucu Küllerin Mineralojik Kompozisyonlarının Hidratasyon ve Puzolarük Reaksiyonlara Etkileri, *Türkiye inşaat Mühendisliği X Teknik Kongresi*, Ankara
- [19] Sümer, M., 1998 F-Tipi Uçucu Külün Beton Dayanımına ve Kılcal Su Emmesine Etkileri, Sakarya Univ., Müh. Fak., İnş. Müh. Böl., Sakarya.
- [20] Ramyar, K., 1993, Uçucu Küllerin Çimento Harcının Büzülmesine ve Betonun Karbonatlaşmasına Sebep Olan Etkileri, *End Atıkların inşaat Sektöründe Kullanılması*, Ankara.

- [21] Bhattacharjee, U., Kandpal, T.C., 2002, *Potential of Fly Ash Utilisation in India*, Energy, 27, 2, 151-166.
- [22] McCarthy, M.J., Dhir, R.K., 1999, *Towards Maximising the Use of Fly Ash as a Binder*, Fuel, 78, 2, 121-132.
- [23] Tokyay, M., 1993, *Betonda Uçucu Kül Kullanımı (Türkiye Deneyimi)*, End Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanımı, Semp., Ankara, 29-36.
- [24] Ünal S., Yücel O., Kurt M., Gül S., 2014, *Atık'tan Ürün'e Demir-Çelik Cürufu, İleri Teknolojiler Çalıştayı*, 255-267.
- [25] Reuter M., Xiao Y., Boin U., 2004, *Recycling and environmental issues of metalurgical slags and salt fluxes*, VII. International Conference on Molten Slags, Fluxes and Salts, 349-356.
- [26] Öner A., Yıldırım T., 2005, *Öğütülmüş yüksek fırın cürufu içeren ve içermeyen betonlarda kırmataş kumu içeriğinin beton özelliklerine etkisi*, Deprem Sempozyumu, Kocaeli.
- [27] Tokyay M., Erdoğan K., 2002, *Cüruflar ve cürufu çimentolar*, Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, Ankara.
- [28] ACI 233.R-95, *Ground granulated blast-furnace slag as a cementitious constituent in concrete*, reported by ACI committee 233, *American Concrete Institute*, Detroit, Michigan.
- [29] Baycık S., 2003, *Granüle Yüksek Fırın Cüruflarının Karo Sektöründe Kullanılabilirliğinin Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [30] Patrick M.L., Stephan D.A., 2012, *Beneficial Use of Recycled Materials in Concrete Mixtures*, Construction and Building Materials, 29, 428-437.
- [31] Özkan, 2006, *Çelikhane ve Yüksek Fırın Cürufu Katkılı Portland Çimentosunun Özellikleri*, İMO Teknik Dergi, 3893-3902.
- [32] Valcuende M., Benito F., Parra C., Miñano I., 2015, *Shrinkage of Self-Compacting Concrete Made With Blast Furnace Slag as Fine Aggregate*, Construction and Building Materials, 76, 9.
- [33] Yüksel İ., Bilir T., Özkan Ö., 2007, *Durability of Concrete Incorporating Non-Ground Blast Furnace Slag and Bottom Ash as Fine Aggregate*, Building and Environment, 42, 2651-2659.
- [34] Çağtay ve Özdemir., 2009, *PÇ Ve Granüle Yüksek Fırın Cürufu Mineral Katkısını İçeren Harç Numunelerin Bazı Özelliklerinin İncelenmesi*, Ç.Ü.Müh.Mim.Fak.Dergisi, 24, 1-2.
- [35] Ünal O., Güçlüer K., 2016, *Gazbeton Üretiminde Yüksek Fırın Cürufu Kullanılabilirliğinin Araştırılması*, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 218-221.
- [36] M. A. Yeğinobalı, 1997, *Silis Dumanının Beton Katkı Maddesi Olarak Değerlendirilmesi*, TMMOB İnşaat Müh. Odası, Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Sempozyumu, Ankara, Bildiriler Kitabı, 149-167.
- [37] N. Ay, İ. B. Topçu, 1993, *Silikoferrokrom Baca Tozunun Betonda Kullanılması*, TMMOB İnşaat Müh. Odası, Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Sempozyumu, (Kasım 1993), Ankara, Bildiriler Kitabı, 185-195.
- [38] N. Ay, İ. B. Topçu, 1995, *The Influence of Silicoferrochromium Fume on Concrete Properties*, Cement and Concrete Research, 25, 2, 387-394.
- [39] Erdoğan, Ş., Ş. Kurbetçi, ve A. Doğan, 1996, *Silis Dumanının Katkılı Çimento ile Kullanımı*, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, 4. Ulusal Beton Kongresi (Ekim-Kasım 1996) Bildirileri Kitabı, 257-266, İstanbul.
- [40] Carette, G.G., Malhotra, V.M., Aitcin, P.C., 1987, *Preliminary data on long-term strength development of condensed silica fume concrete*, CANMET Int. Workshop on Condensed Silica Fume in Concrete, Montreal.
- [41] Aitcin, P.C., Laplante, P., 1990, *Long term compressive strength of silica fume concrete*, J .Materials in Civil Engineering, 3, 3, 164-170.

- [42] Yogendran, V. et al., 1987, Silica fume in high strength concrete, *ACI Materials Journal*, Detroit, 84, 2, 124-129.
- [43] Bentur, A., Goldman, A., 1989, Curing effects, strength and physical properties of high strength silica fume concretes, *J. Materials in Civil Engineering*, 1, 1, 46-58.
- [44] Şimşek., Dur., Yaprak, 2004, Properties of Mortars Added Silica Fume And Superplasticizer, *Journal of Polytechnic*, 7, 2, 169-178.
- [45] ACI Committee 226, 1987, Silica fume in concrete, *ACI Materials Journal*, Detroit, 84, 2, 158-166.
- [46] Xiaofeng, C. et al., 1993, Role Of Silica Fume İn Compressive Strength Of Cement Paste, Mortar And Concrete, *ACI Materials Journal*, Detroit, 89, 4, 375-388.
- [47] Özcan, F., 2005, Silis Dumanı İçeren Harç ve Betonların Özellikleri ve Hızlandırılmış Kür ile Dayanım Tahmini, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- [48] Keleştemur., Yıldız, 2005, Effect of Sodium Chloride on Corrosion of Steel in Normal Concrete and Produced by Addition of Silica Fume, *F. Ü. Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 17, 2, 277-286.
- [49] Bhanja, S. and Sengupta, B., 2005, Influence of Silica Fume on the Tensile Strength of Concrete, *Cement and Concrete Research* 35, 743 – 747.
- [50] Babayev, Z.M., 2015, Çelik tel ve silis duman katkılı betonların normal betonlara göre üstün özellikleri, *Azerbaycan’da İnşaat ve Mimarlık dergisi*, Bakü, 4, 43-46.
- [51] Köksal, F., Yiğit, İ., Yerlikaya, M., Şahin, Y., 2005, Silis Dumanı ve Çelik Tel Kullanımının Yüksek Dayanımlı Betonların Mekanik Özelliklerine Etkisi, 6.Ulusal Beton Kongresi, (16-18 Kasım 2005), İTÜ, Maslak/İstanbul, 317-326.
- [52] Mehta. P. K. ve P C. Aitcin, 1990, Principles Underlying Production of High- Performance Concrete, *Cement, Concrete and Aggregates*, CCAGDP, 70-78.
- [53] Topçu., Kaval, 2000, Influence Of Silica Fume On Hardened Ready-Mixed Concrete Properties, *Eng. & Arch. Fac. Osmangazi University*, 8, 2.
- [54] KOU. B. Eng., Shicong. Mst., 2006, Reusing Recycled Aggregates In Structural Concrete, Ph.D. The Hong Kong Polytechnic University.
- [55] Topçu Bekir İlker, Güncan Fuat Nedim, 1995, Using waste concrete as aggregate, 25, 7, 1385–90.
- [56] Chandra S., 2004, Implications of using recycled construction and demolition waste as aggregate in concrete, Session lead paper, International Conference on Sustainable Waste Management and Recycling, Kingston University, London. 2004. & Conference report. *Cem Concr Compos* 2005, 27, 6, 738–41.
- [57] Khalaf FM, DeVenny AlanS., 2004, Recycling of demolished masonry rubble as coarse aggregate in Concrete, review, *ASCE J Mater Civil Eng.*, 331–40.
- [58] Gilpin Robinson Jr R, Menzie DW, Hyun H., 2004, Recycling of construction debris as aggregate in the Mid-Atlantic Region, USA. *Resour Conserv Recycl*, 42, 3, 275–94.
- [59] Nik. D. Oikonomou, 2005, Recycled concrete aggregates, *Cement & Concrete Composites*, 315–318.
- [60] Anik D, Boonstra C, Mak J. *Handbook of sustainable building*. James & James; 1996.
- [61] S. Nagataki, *Properties of Recycled Aggregate and Recycled Aggregate Concrete*, International Workshop on Recycled Concrete, 2000.
- [62] EHE, Instrucción del hormigón Estructural (Spanish Concrete Structural Code), Ministerio de Fomento, Madrid, Spain, 1999.
- [63] M. Kikuchi, T. Mukai, H. Koizumi, 1988, Properties of concrete products containing recycled aggregate, *Demolition and Reuse of Concrete and Masonry, Reuse of Demolition Waste*, Chapman and Hall, London, 595–604.

- [64] T. Mukai, H. Koizumi, Study on reuse of waste concrete for aggregate of concrete, Paper Presented at a Seminar on “Energy and Resources Conservation in Concrete Technology”, Japan–US Co-operative Science Programme, San Francisco, 1979.
- [65] A.D. Buck, Recycled concrete, Highway Research Record 430 (1973).
- [66] S. Frondistou-Yannas, Waste Concrete as aggregate for New Concrete, ACI Journal (August 1977) 373–376.
- [67] V.M. Malhotra, 1978, Use of recycled concrete as a new aggregate, Proc. Of Symposium on Energy Ad Resource Conservation in the Cement and Concrete Industry, Report, 76-8.
- [68] T.C. Hansen, H. Narud, 1983, Strength of recycled concrete made from crushed concrete coarse aggregate, Concrete International-Design and Construction, 5, 1, 79–83.
- [69] R.S. Ravidrarajah, T.C. Tam, 1985, Properties of concrete made with crushed concrete as coarse aggregate, Magazine of Concrete Research 37.
- [70] M. Tavakoli, P. Soroushian, 1996, Strengths of recycled aggregate concrete made using field-demolished concrete as aggregate, ACI Materials Journal 93 ,2, 182–190.
- [71] R. Sri Ravindrarajah PhD and C.T. Tam 1987, Recycled concrete as fine and coarse aggregates in concrete, Magazine of Concrete Research, 39, 141.
- [72] Hansen, T. C., 1986, Recycled aggregates and recycled aggregate concrete, Second state-of-the-art report, Developments 1978- 1984. RILEM Technical Committee-37-DRC. Materials and Structures: Research and Testing, 19, 111, 201-46.
- [73] Sri Ravindrarajah, R. And T.C Tam, Recycling concrete as fine aggregate in concrete. *The International Journal of Cement Composites and Lightweight Concret.*
- [74] Rasheeduzzafar And Khan, A., 1984, Recycled concrete-A source of new aggregate. *Journal of the American Society of Testing Materials, Cement, Concrete, and Aggregates*, 6, 1, 17-26
- [75] Ajdukiewicz A., Kłiszczewicz A., 2002, Influence of Recycled Concrete Aggregates on Mechanical Properties of HS/HPC, *Cement and Concrete Composites*, 24, 269-279.
- [76] A.M. Neville, 2000, Properties of Concrete, Longman, 56, 2, 981-4053, 2000 by Pearson Education Asia.
- [77] DPT., 1996, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Çimento Hammaddeleri ve Yapı Malzemeleri Çalışma Grubu Raporu, Ankara.
- [78] DPT., 1996, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Çimento Hammaddeleri Çalışma Grubu Raporu, 3, DPT, 2434-491, Ankara.
- [79] Tosun, A., 2007, Türkiye'nin Mermer İhracatını Arttırma Olanaklarının Araştırılması.
- [80] Fatih Kara, İnternet. <https://malzemebilimi.net/mermer>.
- [81] DPT., 2001, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu.
- [82] Kışman Z. A., ve Kan Ö. D., 2011, Elazığ Mermeri Sektörel Arastırması, Fırat Kalkınma Ajansı Raporu, Elazığ, Türkiye.
- [83] Özel, C., 2007, Katkılı Betonların Reolojik Özelliklerinin Taze Beton Deney Yöntemlerine Göre Belirlenmesi, Doktora Tezi, SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- [84] Demir, İ., Mermer Tozunun Kullanım Alanları, bk.aku.edu.tr.
- [85] Beycioğlu, A., Başıyigit C. ve Subası, S., 2008, Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanımı ile Geri Kazanılması ve Çevresel Etkilerinin Azaltılması, Çevre Sorunları Sempozyumu (14-17 Mayıs), Kocaeli, 1387-1394.
- [86] Alyamaç, K. E. ve İnce, R., 2007, Atık Mermer Çamurunun Kendiliğinden Yerleşen Betonda Toz Madde Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması, TÇMB 3rd International Symposium , 821-832, İstanbul.
- [87] Lappa, S., Yıldız, A., Demirbilek, Ö., 1997, Mermercilikte Atık Sorunu, Atıkların Değerlendirilmesi ve Çevre İlişkileri, Mermercilik Semineri Raporu, Afyonkarahisar.

- [88] Büyüksağış, İ.S., 1995, Mermer İşleme Tesisleri Atık Sularının Arıtım Yöntemleri ve Ekonomikliklerinin İncelenmesi, Türkiye i. Mermer Sempozyumu Kitabı. 69- 76, Ankara.
- [89] Çelik, M. Y., 1996, Mermer Atıklarının Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi Afyonkarahisar.
- [90] Burdur Valiliği, Mahalli Çevre Kurulu Kararı, Burdur, 2006.
- [91] Bilgin, N., 2010, Mermer Tozu Atıklarının Yapı Malzemesi Üretiminde Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [92] Mehta PK, Monteiro PJM., 2006, Concrete, microstructure, properties and materials. 3rd ed. New York: McGraw Hill.
- [93] Shirule PA, Rahman Ataur, Gupta Rakesh D., 2012, Partial replacement of cement with marble dust powder, Int J Adv Eng Res Stud (April–June), 1, 3, 175–7.
- [94] Ergun Ali, 2011, Effects of the usage of diatomite and waste marble powder as partial replacement of cement on the mechanical properties of concrete, Constr Build Mater, 25, 806–12.
- [95] Binici Hanifi, Kaplan Hasan, Yılmaz Salih, 2007, Influence of marble and limestone dusts as additives on some mechanical properties of concrete, Sci Res Essay, 2, 9, 372–9.
- [96] Bahar Demirel, 2010, The effect of the using waste marble dust as fine sand on the mechanical properties of the concrete, Int J Phys Sci, 5, 9, 1372–80.
- [97] Özden, M., 1990, Lastik sektöründe pazarlama faaliyetlerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [98] Kotresh, K.M., Mesfin, Study On Waste Tyre Rubber As Concrete Aggregates, International Journal of Scientific Engineering and Technology, 3, 4, 433-436
- [99] Lougheed, T. J., And Papagiannakis, A.T., 1996, Viscosity Characteristics of Rubber-Modified Asphalts. J. of Materials in Civil Eng., ASCE, (1996).
- [100] T.C. Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı Müsteşarlığı, 2000, Araç Lastiği Özel İhtisas Komisyonu, DPT Raporu, Ankara, 1-3 7.
- [101] İnternet, Technical Guides on the Identification and Management of Used Tyres, <http://www.basel.int/cop5/predocs/Eng/99-008e.htm> (1998).
- [102] Aile ve Tüketici Hizmetleri “Atık Lastikler” T.C. Millî Eğitim Bakanlığı, Ankara, 2011.
- [103] Hing-Ho Tsang “Uses Of Scrap Rubber Tires” Department of Civil Engineering, The University of Hong Kong, Pokfulam Road, Hong Kong. <https://www.researchgate.net/publication/282180281>
- [104] United States Environmental Protection Agency (USEPA). Management of Scrap Tires. [Online] Available from:<http://www.epa.gov/epawaste/nonhaz/municipal/index.htm> [Accessed May 2010].
- [105] Van Beukering, P. J. H. & Janssen, M. A., 2001, Trade and recycling of used tyres in Western and Eastern Europe, Resources, Conservation and Recycling, 33, 4, 235-265.
- [106] Deniz V. Ve Alataş C., 2001, Atık Lastik Yönetimi, IV.Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi.
- [107] U.S. Environmental Protection Agency, 1994, Recycling and Reuse of Material Found on Superfund Sites, Handbook, Cincinnati, Ohio.
- [108] Amari T., Nickolas J. Themelis and Iddo K. Wernick, 1999, Resource recovery from used rubber tires, Resources Policy, 25, 179-188.
- [109] Galvagno, S., Casu, S., Casabianca, T., Calabrese, A. & Cornacchia, G., 2002, Pyrolysis process for the treatment of scrap tyres: preliminary experimental results, Waste Management, 22, 8, 917-923.
- [110] Sharma, V. K., Fortuna, F., Mincarini, M., Berillo, M. & Cornacchia, G., 2000, Disposal of waste tyres for energy recovery and safe environment, Applied Energy, 65, 1, 381-394.
- [111] M. Emiroğlu, 2006, Use Of Waste Vehicle Tire In Concrete And Its Effects On Characteristics Of Concrete, Msc Thesis, Graduate School Of Natural And Applied Sciences Department Of Construction Education, Firat University.
- [112] Rad, F., 1967, Rubberized Concrete, New Horizons in Construction Materials, 1, Envo Publishing Company.

- [113] N.N. Eldin, A.B. Senouci, 1994, Measurement and prediction of the strength of rubberized concrete, *Cem. Concr. Compos.* 16, 4, 287–298.
- [114] Z.K. Khatib, F.M. Bayomy, 1999, Rubberized Portland cement concrete, *J. Mater. Civ. Eng.*, 11, 3, 206–213.
- [115] M.M. Reda Taha, A. El-Dieb, M. Abd El-Wahab, M. Abdel-Hameed, 2008, Mechanical, fracture, and microstructural investigations of rubber concrete, *J. Mater. Civ. Eng.*, 20, 10, 640–649.
- [116] H. Su, J. Yang, T.-C. Ling, G.S. Ghataora, S. Dirar, 2015, Properties of concrete prepared with waste tyre rubber particles of uniform and varying sizes, *J. Cleaner Prod.*, 91, 288–296.
- [117] A. Kashani, T.D. Ngo, P. Hemachandra, A. Hajimohammadi, 2018, Effects of surface treatments of recycled tyre crumb on cement-rubber bonding in concrete composite foam, *Constr. Build. Mater.*, 171, 467–473.
- [118] A. Moustafa, M.A. ElGawady, 2015, Mechanical properties of high strength concrete with scrap tire rubber, *Constr. Build. Mater.*, 93, 249–256.
- [119] E. Güneyisi, M. Gesoglu, T. Özturan, 2004, Properties of rubberized concretes containing silica fume, *Cem. Concr. Res.*, 34, 12, 2309–2317.
- [120] B.S. Thomas, R.C. Gupta, 2015, Long term behaviour of cement concrete containing discarded tire rubber, *J. Cleaner Prod.* 102, 78–87.
- [121] H.A. Toutanji, 1996, The use of rubber tire particles in concrete to replace mineral aggregates, *Cem. Concr. Compos.*, 18, 2, 135–139.
- [122] C. Albano, N. Camacho, J. Reyes, J. Feliu, M. Hernández, 2005, Influence of scrap rubber addition to Portland I concrete composites: destructive and nondestructive testing, *Compos. Struct.*, 71, 3, 439–446.
- [123] L. Li, S. Ruan, L. Zeng, 2014, Mechanical properties and constitutive equations of concrete containing a low volume of tire rubber particles, *Constr. Build. Mater.*, 70, 291–308.
- [124] M. Gesoglu, E. Güneyisi, O. Hansu, S. Ipek, D.S. Asaad, 2015, Influence of waste rubber utilization on the fracture and steel–concrete bond strength properties of concrete, *Constr. Build. Mater.*, 101, 1113–1121.
- [125] S. Raffoul, R. Garcia, K. Pilakoutas, M. Guadagnini, N.F. Medina, 2016, Optimisation of rubberised concrete with high rubber content: an experimental investigation, *Constr. Build. Mater.*, 124, 391–404.
- [126] A. Abdelmonem, M. El-Feky, E.-S.A. Nasr, M. Kohail, 2019, Performance of high strength concrete containing recycled rubber, *Constr. Build. Mater.*, 227, 116660.
- [127] N.N. Eldin, A.B. Senouci, 1993, Rubber-tire particles as concrete aggregate, *J. Mater. Civ. Eng.*, 5, 4, 478–496.
- [128] H.S. Lee, H. Lee, J.S. Moon, H.W. Jung, 1998, Development of tire added latex concrete, *Mater.*, 95, 4, 356–364.
- [129] G. Skripkiunas, A. Grinys, K. Miškinis, 2009, Damping properties of concrete with rubber waste additives, *Mater. Sci. (Medžiagotyra)*, 15, 3, 266–272.
- [130] K.B. Najim, M.R. Hall, 2013, Crumb rubber aggregate coatings/pre-treatments and their effects on interfacial bonding, air entrapment and fracture toughness in self-compacting rubberised concrete (SCRC), *Mater. Struct.*, 46, 12, 2029–2043.
- [131] E.-S. Abd-Elaal, S. Araby, J.E. Mills, O. Yousuf, R. Roychand, X. Ma, Y. Zhuge, R.J. Gravina, 2019, Novel approach to improve crumb rubber concrete strength using thermal treatment, *Constr. Build. Mater.*, 229, 116901.
- [132] A.A. Aliabdo, A.E.M.A. Elmoaty, M.M. AbdElbaset, 2015, Utilization of waste rubber in non-structural applications, *Constr. Build. Mater.*, 91, 195–207.
- [133] I.B. Topcu, 1995, The properties of rubberized concretes, *Cem. Concr. Res.*, 25, 2, 304–310.

- [134] A.O. Atahan, A.Ö. Yücel, 2012, Crumb rubber in concrete: static and dynamic evaluation, *Constr. Build. Mater.*, 36, 617–622.
- [135] D. Li, Y. Zhuge, R. Gravina, J.E. Mills, 2018, Compressive stress strain behavior of crumb rubber concrete (CRC) and application in reinforced CRC slab, *Constr. Build. Mater.*, 166, 745–759.
- [136] L. Zheng, X.S. Huo, Y. Yuan, 2008, Experimental investigation on dynamic properties of rubberized concrete, *Constr. Build. Mater.*, 22, 5, 939–947.
- [137] F. Liu, W. Zheng, L. Li, W. Feng, G. Ning, 2013, Mechanical and fatigue performance of rubber concrete, *Constr. Build. Mater.*, 47, 711–719.
- [138] TS 706 EN 12620 Haziran 2003, *Beton Agregaları*, ICS 91.100.15; 91.100.30 .
- [139] TS 802 Mart 2016, *Beton Karışım Tasarımı Hesap Esasları*, ICS 91.100.30.
- [140] Tanyıldızı, 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.
- [141] TS EN 108 (2003), T. E. (n.d.). TSE EN Standard Detayı, from <https://intweb.tse.org.tr/Standard>
- [142] TS EN 12350-2/ Haziran 2002, Beton- Taze Beton Deneyleri- Bölüm 2: Çökme (Slump) Deneyi, ICS 91.100.30.
- [143] TS EN 12504-2 Aralık 2004, Yapılarda Beton Deneyleri- Bölüm 2: Tahribatsız Deneyler- Geri Sıçrama Değerinin Tayini, ICS 91.100.30
- [144] TS EN 12504-4, Beton Deneyleri- Bölüm 4: Ultrasonik Atımlı Dalga Hızının Tayini, ICS 91.100.30.
- [145] TS EN 12390-3 Haziran 2003, Beton- Sertleşmiş Beton Deneyleri- Bölüm 3: Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini, ICS 91.100.30.
- [146] TS EN 12390-6/Haziran 2002, Beton- Sertleşmiş Beton Deneyleri- Bölüm 6: Deney Numunelerinin Yarmada Çekme Dayanımının Tayini, ICS 91.100.30.
- [147] TS EN 12390-7 / Haziran 2002, Beton- Sertleşmiş Beton Deneyleri- Bölüm 7:Sertleşmiş Betonun Yoğunluğunun Tayini,1. Baskı.

ÖZGEÇMİŞ

Rahim Gul RAHİMİ

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

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,