



T.C.  
NİĞDE ÖMER HALİSDEMİR ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK SICAKLIĞIN ATIK PET AGREGALI HARÇLARIN ÖZELLİKLERİNE  
ETKİSİ

GÜLHAN BELLER

Haziran 2019



T. C.  
NİĞDE ÖMER HALİSDEMİR ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK SICAKLIĞIN ATIK PET AGREGALI HARÇLARIN ÖZELLİKLERİNE  
ETKİSİ

GÜLHAN BELLER

Yüksek Lisans Tezi

Danışman  
Doç. Dr. Kubilay AKÇAÖZOĞLU

Haziran 2019

**Gülhan BELLER** tarafından **Doç. Dr. Kubilay AKÇAÖZOĞLU** danışmanlığında hazırlanan “**Yüksek Sıcaklığın Atık Pet Agregalı Harçların Özelliklerine Etkisi**” adlı bu çalışma jürimiz tarafından Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **İnşaat Mühendisliği** Ana Bilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan :Doç. Dr. Kubilay AKÇAÖZOĞLU, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi

Üye :Prof. Dr. Mustafa SARIDEMİR, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi

Üye :Dr. Öğr. Üyesi İsmail İsa ATABEY, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi

**ONAY:**

Bu tez, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca belirlenmiş olan yukarıdaki jüri üyeleri tarafından ....../....../20.... tarihinde uygun görülmüş ve Enstitü Yönetim Kurulu’nun ....../....../20.... tarih ve ..... sayılı kararıyla kabul edilmiştir.

...../...../20...

**Doç. Dr. Murat BARUT**  
**MÜDÜR**

## TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin bilimsel ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Gülhan BELLER



## ÖZET

### YÜKSEK SICAKLIĞIN ATIK PET AGREGALI HARÇLARIN ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

BELLER, Gülhan

Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Doç.Dr. Kubilay AKÇAÖZOĞLU

Haziran 2019, 51 sayfa

Bu çalışmada, yüksek sıcaklığın atık PET agrega içeren harçların özelliklerine etkisi incelenmiştir. Hacimce %0, %2.5, %5, %10, %20 ve %30 oranlarında PET agrega ikamesiyle toplam 6 adet farklı karışım hazırlanmıştır. Harç numuneleri üzerinde taze birim ağırlık ve yayılma tablası deneyleri yürütülmüştür. Yüksek sıcaklık karşısındaki davranışlarını belirlemek amacıyla elektrikli fırında numuneler 100, 150, 200, 250, 300 ve 400 °C sıcaklıklara kadar ısıtılmıştır. Bu sıcaklıklarda 1, 2 ve 3 saat süreyle bekletilmişlerdir. Yüksek sıcaklığa maruz bırakılmış numunelerin ağırlık kaybı, ultrases geçiş hızı, eğilme ve basınç dayanımı değerleri ölçülmüştür. PET agrega miktarının artması ile harç kıvamlarının ve birim hacim ağırlık değerlerin azaldığı tespit edilmiştir. Uygulanan tüm sıcaklık süreleri için sıcaklığın artması ile birlikte numunelerin ağırlık kayıplarının da arttığı görülmüştür. Ayrıca tüm karışımlarda sıcaklığın ve PET agrega miktarlarının artması ile birlikte ultrases geçiş hızı, eğilme dayanımı ve basınç dayanımı değerlerinin azaldığı görülmüştür.

*Anahtar Sözcükler:* Atık PET agrega, yüksek sıcaklık, ağırlık kaybı, ultrases geçiş hızı, eğilme dayanımı, basınç dayanımı.

## SUMMARY

### THE EFFECT OF HIGH TEMPERATURE ON THE PROPERTIES OF MORTAR CONTAINING PET AGGREGATE

BELLER, Gülhan

Niğde Ömer Halisdemir University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Engineering

Supervisor

: Assoc. Prof. Dr. Kubilay AKÇAÖZOĞLU

June 2019, 51 pages

In this study, the effect of elevated temperature on the properties of mortar containing waste PET aggregates was investigated. Six different mixtures were prepared by using waste PET aggregates in substitution ratios of %0, %2.5, %5, %10, %20 and %30 by volume. The fresh unit weights and flow table tests were carried out on mortar samples. The hardened specimens were left in the electric furnace at the temperature of 100, 150, 200, 250, 300 and 400 °C in order to determine the behavior of the specimens at elevated temperatures. They were left for 1, 2 and 3 hours at these temperatures. The weight loss, ultrasonic wave velocity, flexural and compressive strengths values of the specimens which were exposed to elevated temperatures were measured. It was determined that the consistency and fresh unit weight of specimens decreased depending on increasing amount of waste PET aggregate. It was observed that the weight loss of the samples increased with increasing temperature for all applied temperature periods. Also, it was observed that ultrasonic wave velocity, flexural and compressive strengths values of the specimens decreased depending on increasing temperature and amount of waste PET aggregate in all mixtures.

*Keywords: Waste PET aggregate, elevated temperature, weight loss, ultrasonic wave velocity, flexural strength, compressive strength.*

## ÖN SÖZ

Bu yüksek lisans çalışmasında, farklı sürelerde yüksek sıcaklık uygulanan Atık PET agregalı harçların özelliklerine etkileri araştırılması amacıyla laboratuvar deneyleri yürütülmüştür. Farklı oranlarda PET agrega ikamesiyle toplam 6 adet farklı karışım elde edilmiştir. Yüksek sıcaklığın numunelere etkisinin belirlenmesi amacıyla sertleşmiş numuneler 1, 2 ve 3 saat süreyle 100, 150, 200, 250, 300 ve 400 °C sıcaklıklara maruz bırakılmıştır. Çalışma sonucunda yüksek sıcaklığın ve PET agrega miktarının artmasının deneyler üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

Yüksek lisans çalışmalarım boyunca bilgisi, tecrübesi, değerli görüşleri ile bana her zaman yol gösteren ve destek olan, yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen danışman hocam, sayın Doç. Dr. Kubilay AKÇAÖZOĞLU'na sonsuz teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Yüksek lisans tez çalışmam boyunca tecrübelerine başvurduğum Prof. Dr. Metin H. SEVERCAN, Prof. Dr. Mustafa SARIDEMİR, Prof. Dr. Fatih ÖZCAN, Doç. Dr. Semiha AKÇAÖZOĞLU, Dr. Öğr. Üyesi Beyhan BELLER DİKMEN ve İnşaat Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyelerine, Fuat ÖZCAN'a teşekkürü bir borç bilirim.

Üniversiteye ilk başladığım yıllarda tanıştığım ve o günden beri bilimsel desteklerinden her zaman yararlandığım arkadaşlarım Hakan UÇAR ve Hakan ÖZER'e teşekkürlerimi sunarım.

Eğitim hayatım boyunca her zaman destek olan ve emeklerini hiçbir zaman ödeyemeyeceğim, annem Hatice BELLER'e ve babam Ali BELLER'e şükranlarımı sunarım. Hayatımın her anında destek olan ablalarım Nuran BELLER ve Beyhan BELLER DİKMEN'e teşekkürlerimi sunarım.

## İÇİNDEKİLER

ÖZET .....	iv
SUMMARY .....	v
ÖN SÖZ .....	vi
İÇİNDEKİLER .....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	x
FOTOĞRAFLAR DİZİNİ .....	xii
SİMGE VE KISALTMALAR .....	xiii
BÖLÜM I GİRİŞ .....	1
BÖLÜM II ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR .....	4
2.1 Atık PET Agregalı Betonlar .....	4
2.1.1 Plastik atık çeşitleri ile ilgili genel bilgiler .....	4
2.1.2 Polietilen tereftalat (PET) .....	5
2.1.3 Atık PET agregalı betonlar konusunda yapılmış çalışmalar .....	6
2.2 Yüksek Sıcaklık Etkisinde Beton .....	9
2.2.1 Yüksek sıcaklık kaynakları .....	9
2.2.1.1 Yangın .....	10
2.2.1.2 Endüstri fırın bacaları .....	10
2.2.1.3 Hava alanı pistleri .....	10
2.2.1.4 Nükleer reaktörler .....	11
2.2.2 Yüksek sıcaklığın betona etkisi .....	11
2.2.2.1 Yüksek sıcaklığın çimento hamuruna etkisi .....	11
2.2.2.2 Yüksek sıcaklığın agregaya etkisi .....	12
2.2.2.3 Yüksek sıcaklığın betonun fiziksel özelliklerine etkisi .....	12
2.2.2.4 Yüksek sıcaklığın betonun mekanik özelliklerine etkisi .....	13
BÖLÜM III MALZEME ÖZELLİKLERİ VE DENEYSEL ÇALIŞMA .....	14
3.1 Kullanılan Malzeme Özellikleri .....	14
3.1.1 Çimento .....	14
3.1.2 Agregası .....	15
3.1.3 Atık polietilen (PET) şişe kırıkları .....	16

3.1.4 Kimyasal katkı malzemesi.....	18
3.1.5 Karışım ve bakım suyu .....	18
3.2 Harç Karışım Oranları .....	18
3.3 Numunelerin Üretimi ve Kürü.....	18
3.4 Numuneler Üzerinde Yürütülen Çalışmalar .....	20
3.4.1 Taze beton deneyleri.....	20
3.4.1.1 Birim ağırlık .....	20
3.4.1.2 Yayılma tablası.....	20
3.4.2 Sertleşmiş beton deneyleri.....	21
3.4.2.1 Ağırlık kaybı .....	21
3.4.2.2 Yüksek sıcaklığa maruz kalan numunelerde yürütülen çalışmalar ....	21
3.4.2.3 Ultrases geçiş hızı.....	22
3.4.2.4 Eğilmede çekme dayanımı .....	23
3.4.2.5 Basınç dayanımı .....	24
BÖLÜM IV BULGULAR VE TARTIŞMA .....	26
4.1 Taze Harç Deneyleri .....	26
4.1.1 Yayılma tablası .....	26
4.1.2 Birim hacim ağırlık.....	26
4.1 Sertleşmiş Harç Deneyleri .....	28
4.1.1 Ağırlık kaybı .....	28
4.2.2 Ultrases geçiş hızı .....	32
4.2.3 Eğilmede çekme dayanımı.....	35
4.2.4 Basınç dayanımı.....	39
BÖLÜM V SONUÇLAR.....	44
KAYNAKLAR .....	46

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Kullanılan çimentonun kimyasal özellikleri .....	14
Çizelge 3.2. Kullanılan çimentonun fiziksel özellikleri .....	15
Çizelge 3.3. İnce agreganın elek analiz değerleri .....	15
Çizelge 3.4. Atık PET agreganın elek analiz değerleri .....	17
Çizelge 4.1. Karışımlara ait yayılma çapları ve katkı miktarları .....	26
Çizelge 4.2. Karışımlara ait hacim ağırlık değerleri .....	27
Çizelge 4.3. Numunelerin ağırlık kaybı değerleri .....	28
Çizelge 4.4. Numunelerin ultrases geçiş hızı değerleri .....	32
Çizelge 4.5. Numunelerin eğilmede çekme dayanımı değerleri .....	36
Çizelge 4.6. Numunelerin basınç dayanımı değerleri .....	40

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. İnce agreganın granülometri eğrisi .....	16
Şekil 3.2. PET agreganın elek analizlerinin grafiksel gösterimi .....	17
Şekil 3.3. Eğilme deneyi .....	24
Şekil 3.4. Basınç deneyi .....	25
Şekil 4.1. PET agrega miktarı ile birim hacim ağırlığı arasındaki ilişki .....	27
Şekil 4.2. 1 saat sıcaklığa maruz kalan numunelerin sıcaklık ağırlık kaybı ilişkisi ..	29
Şekil 4.3. 2 saat sıcaklığa maruz kalan numunelerin sıcaklık ağırlık kaybı ilişkisi...	29
Şekil 4.4. 3 saat sıcaklığa maruz kalan numunelerin sıcaklık ağırlık kaybı ilişkisi ...	29
Şekil 4.5. 1 saat sıcaklığa maruz kalan numunelerin PET ağırlık kaybı .....	30
Şekil 4.6. 2 saat sıcaklığa maruz kalan numunelerin PET ağırlık kaybı .....	30
Şekil 4.7. 3 saat sıcaklığa maruz kalan numunelerin PET ağırlık kaybı .....	30
Şekil 4.8. 1 saat sıcaklığa maruz kalan numunelerin sıcaklık ultrases geçiş hızı ilişkisi .....	33
Şekil 4.9. 2 saat sıcaklığa maruz kalan numunelerin sıcaklık ultrases geçiş hızı ilişkisi .....	33
Şekil 4.10. 3 saat sıcaklığa maruz kalan numunelerin sıcaklık ultrases geçiş hızı ilişkisi .....	34
Şekil 4.11. 1 saat sıcaklığa maruz kalan numunelerin PET ultrases geçiş hızı ilişkisi.....	34
Şekil 4.12. 2 saat sıcaklığa maruz kalan numunelerin PET ultrases geçiş hızı ilişkisi.....	35
Şekil 4.13. 3 saat sıcaklığa maruz kalan numunelerin PET ultrases geçiş hızı ilişkisi.....	35
Şekil 4.14. 1 saat sıcaklığa maruz kalan numunelerin sıcaklık eğilme dayanımı ilişkisi .....	37
Şekil 4.15. 2 saat sıcaklığa maruz kalan numunelerin sıcaklık eğilme dayanımı ilişkisi .....	37
Şekil 4.16. 3 saat sıcaklığa maruz kalan numunelerin sıcaklık eğilme dayanımı ilişkisi .....	37

Şekil 4.17. 1 saat sıcaklığa maruz kalan numunelerin PET eğilme dayanımı ilişkisi	38
Şekil 4.18. 2 saat sıcaklığa maruz kalan numunelerin PET eğilme dayanımı ilişkisi	38
Şekil 4.19. 3 saat sıcaklığa maruz kalan numunelerin PET eğilme dayanımı ilişkisi	38
Şekil 4.20. Numunelerin eğilme dayanımı ile ultrases geçiş hızı arasındaki ilişki ...	39
Şekil 4.21. 1 saat sıcaklığa maruz kalan numunelerin sıcaklık basınç dayanımı ilişkisi .....	40
Şekil 4.22. 2 saat sıcaklığa maruz kalan numunelerin sıcaklık basınç dayanımı ilişkisi hızı ilişkisi .....	41
Şekil 4.23. 3 saat sıcaklığa maruz kalan numunelerin sıcaklık basınç dayanımı ilişkisi .....	41
Şekil 4.24. 1 saat sıcaklığa maruz kalan numunelerin PET basınç dayanımı ilişkisi	42
Şekil 4.25. 2 saat sıcaklığa maruz kalan numunelerin PET basınç dayanımı ilişkisi	42
Şekil 4.26. 3 saat sıcaklığa maruz kalan numunelerin PET basınç dayanımı ilişkisi	42
Şekil 4.27. Numunelerin eğilme dayanımı ile basınç dayanımı arasındaki ilişkisi ...	43
Şekil 4.28. Numunelerin ultrases geçiş hızı ile basınç dayanımı arasındaki ilişkisi .	43

## FOTOĞRAFLAR DİZİNİ

Fotoğraf 3.1. Çalışmada kullanılan PET kırıkları .....	16
Fotoğraf 3.2. Taze beton numuneleri .....	19
Fotoğraf 3.3. Kür havuzunda bekletilen numuneler .....	19
Fotoğraf 3.4. Laboratuvar ortamında bekletilen numuneler .....	19
Fotoğraf 3.5. Yayılma tablası deneyi .....	20
Fotoğraf 3.6. Deney numunelerinin yüksek sıcaklığa maruz bırakılması .....	22
Fotoğraf 3.7. Ultrases geçiş hızının ölçülmesi .....	23
Fotoğraf 3.8. Eğilmede çekme deney düzeneği .....	23
Fotoğraf 3.9. Basınç dayanımı tayininde kullanılan deney düzeneği .....	25

## SİMGE VE KISALTMALAR

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklama</b>
$f_s$	Eğilme dayanımı
$f_c$	Basınç dayanımı
A	Kesit alanı

<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklama</b>
ASTM	Amerikan Deney ve Malzeme Birliği
MPa	Mega Pascal
PET	Polietilen Tereftalat
TS	Türk Standartları
UGH	Ultrases Geçiş Hızı

# BÖLÜM I

## GİRİŞ

Toplumların ilerlemesini gösteren endüstrinin gittikçe büyümesi birçok yararın yanı sıra hayatımızın tamamını tesir eden çevre kirliliğini de yanında getirmiştir. Ayrıca teknolojilerin hatalı kullanımı, bilinçsizlik ve tabiat sevgisinden mahrum olmak çevre kirliliğinin çoğalmasını daha da hızlandırmaktadır.

Ülkemizde ve dünyada kullanım alanları giderek çoğalan plastik kullanımına bağlı olarak, atık plastik miktarı da hızla artmaktadır. Bu durum çevre kirliliğinin yanı sıra katı atık depolama sorununun ortaya çıkmasına sebep olmaktadır. Atık maddelerin geri dönüştürülmesi ile alakalı bir hayli çalışma yapılmış ve günümüzde de bu konu ile ilgili araştırma çalışmaları devam etmektedir. Ancak geri dönüştürme işlemleri önemli bir miktarda yatırım gerektirdiği için atık malzemelerin tamamı geri dönüştürülememektedir (Akçaözoğlu vd., 2013; Akçaözoğlu ve Atış, 2011; Akçaözoğlu vd., 2010; Özcan, 2006). Plastikler tabiatta ayrışma süresi en uzun olan maddelerdir, bu maddeleri olabildiğince ayrı biriktirip genelini geri kazanmak muhtemeldir. Fakat toplama, kaba temizleme, ayırma, yıkama ve tekrar işleme güçlüğünden ötürü mevcut durumda yüksek yoğunlukta polietilen (HDPE), polivinil klorür (PVC), polietilen tereftalat (PET) plastikleri geri kazanılmaktadır (Tan vd., 2007).

PET, tereftalik asit ya da dimetil tereftalat'ın monoetilen glikol ile reaksiyonundan elde edilen bir polimer olma özelliği taşımaktadır (Küçükaltun ve Evliya, 2012). Bu özelliğinden dolayı, termoplastik bir malzeme olarak belirtilen PET, Polyester ailesinin bir üyesi konumundadır (Özel vd., 2011). PET, ham petrolün çeşitli petrol ürünlerine dönüştürülmesi için yapılan rafine edilme işleminden sonra ortaya çıkan hammaddelerden meydana gelmektedir. Polietilen tereftalat (PET), fiziksel ve kimyasal dayanıma sahip olup içerisindeki sıvıyı koruyabilmektedir. Kırılgan olmadığından işlenimi, hafif olduğundan ise taşınması kolaydır. Şeffaf, parlak, düzgün yüzey ve iyi ışık geçirgenliğine sahiptir. Su absorpsiyonu ve gaz geçirgenliği düşük seviyededir. PET'in en önemli özelliklerinden bir tanesi insan sağlığına zararlı etkilerinin bulunmamasıdır (Akçaözoğlu, 2008).

Son yıllarda, PET'in, oluşabilecek kaynak israfı ve çevre kirliliğinin önlenmesi amacıyla dünyada ve ülkemizde farklı sektörlerdeki firmalar tarafından değerlendirilmesi konusu önem kazanmıştır. Bu sektörlerin arasında ülkemizde önemli bir seviye de yükseliş gösteren inşaat sektörü de bulunmaktadır. PET'ten elde edilen plastik parçalar inşaat sektöründe, beton içerisinde katkı malzemesi olarak kullanılmakta ve bu parçalar atık PET agrega şeklinde ifade edilmektedir (MohammadiAhmadabad, 2014). Agregaya; beton oluşumunda doğadan olduğu gibi alınan veya bir miktar kırıldıktan sonra kullanılan malzemeler olarak belirtilmektedir (Gönen vd., 2012). PET agrega, doğadan olduğu gibi alınmamakta ve bir miktar parçalandıktan sonra beton üretiminde kullanılmaktadır.

1922 yılından günümüze kadar yüksek sıcaklığın betona ve betonarme yapılara etkisi araştırılmaktadır. Gerçekleştirilen çalışmalarda yangın esnasında ve sonrasında malzemenin karmaşık hareketi, yapısal emniyeti ve yapının birliği anlaşılmaya çalışılmıştır (Khoury, 1992).

Yüksek sıcaklık yapılarda kalıcı hasarlara yol açan fiziksel etkilerden biridir. Dayanıklılık problemi sonucu yapılar işlevlerini kaybedip can ve mal kayıplarına neden olabilmektedir (Baradan ve Aydın, 2013). Yüksek sıcaklık uygulama çalışması, betonun yapısal olarak şekil değiştirme, gerilme ve yangın dayanım hallerini iyileştirmek adına malzemelerin özelliklerindeki değişimin araştırılması nedeniyle yapılmaktadır (Demir, 2008).

Çalışmalar sonunda betonun birçok malzemeye göre yüksek sıcaklık ve yangın etkisi karşısında daha dayanıklı olduğu görülmüştür. Fakat bu dayanıklılık belirli süreler ve belirli sıcaklık dereceleri için geçerlidir (Baradan vd., 2002).

Bu çalışmada, yüksek sıcaklığın atık PET agregalı harçların özelliklerine etkisi incelenmiştir. PET kullanılarak farklı miktarlarda 6 adet karışım hazırlanmıştır. Hacimce %0, %2.5, %5, %10, %20 ve %30 oranlarında agrega yerine PET harca ilave edilerek harcın birim ağırlık, yayılma tablası, ağırlık kaybı, ultrases geçiş hızı, eğilme dayanımı ve basınç dayanımı değerleri incelenmiştir. Ayrıca, numunelerin yüksek sıcaklık karşısındaki davranışlarını belirlemek amacıyla, sıcaklık artış hızı 5 °C/dk olan bir elektrikli fırına yerleştirilerek 100, 150, 200, 250, 300 ve 400 °C sıcaklıklara kadar

ısıtılmışlardır. Numuneler hedeflenen sıcaklığa ulaştıktan sonra 1, 2 ve 3 saat süreyle yüksek sıcaklığa maruz bırakılarak yüksek sıcaklığın harç karışımlarına etkisi araştırılmıştır.



## BÖLÜM II

### ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Literatür araştırması çalışmanın kapsamına bağlı olarak iki bölümde ele alınmıştır. Birinci bölümde atık PET şişe kırıklarının beton üretiminde kullanımı konusunda araştırmalar yer almaktadır. İkinci bölümde betona uygulanan yüksek sıcaklığın etkisi hakkında bilgilere yer verilmiştir.

#### 2.1 Atık PET Agregalı Betonlar

##### 2.1.1 Plastik atık çeşitleri ile ilgili genel bilgiler

Yunanca “plastikos” sözcüğünden gelen ve polimerizasyon ürünü olan plastik, sahip olması istenilen biçimi alabilen bir yapıya sahiptir. Bu yapının içerisinde yüksek molekül ağırlıklı organik moleküller veya polimerler bulunmaktadır (Sevencan ve Vaizoğlu, 2007). Plastik, petrol esaslı ürün ya da ürünler ile doğalgazın hammadde olarak kullanıldığı ve bu ürünlerin kimyasal değişimleri sonucu oluşan madde grupları içerisinde yer almaktadır (Akçaözoğlu, 2008).

Plastikler; hafif ve düşük maliyetli, dayanıklı, düşük yoğunluklu, kullanıcı dostu tasarımları, üretim yetenekleri ve uzun ömürlü vb. özelliklere sahip olmasından dolayı hayatımızın ayrılmaz parçası haline gelmiştir (Siddique vd., 2007). Plastikler bu özelliklerinden dolayı; elektrik – elektronik, otomotiv, tekstil ürünleri, ev eşyaları, tarım ve inşaat sektörlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Evren, 2018). Bu kullanım alanlarının yanı sıra plastikler, küresel boyutta ortaya çıkabilen enerji ihtiyaçlarımızın minimum seviyede kalmasını sağlayarak yenilenemeyen kaynakların kullanım süresini de arttırabilmektedir (Özel vd., 2011).

Yukarıdaki paragraflarda ifade edildiği gibi, plastiğin içerisinde bulunan molekül veya polimerler, plastiğin parçalanması sonucu lifli hale getirilerek plastik atık elde edilmektedir. Plastik atıklar; inşaat sektöründe agrega yerine veya agregaya ek olarak pomza, kalker, bazalt ve kuvars ile önceden belirlenmiş oranlarda ayrı ayrı karıştırılarak plastik katkılı harç ya da hafif beton üretimi şeklinde kullanılmaktadır (Gönen vd.,

2012). Hafif beton yapımında; Polietilen (PE), Polipropilen (PP), PET, Polistren (PS) ve Polivinil Klorür (PVC) gibi bazı plastik atıklar da kullanılmaktadır (Gavela vd., 2004; Akçaözoğlu vd., 2010). Bu plastik atıkların kullanım alanlarını aşağıdaki gibi ifade etmek mümkündür (Akçaözoğlu, 2008):

- Polietilen (PE); büyük torba, tüp, şişe, varil, bidon, çeşitli boru, inşaat ve endüstriyel film yapımında kullanılmaktadır.
- Polipropilen (PP); laboratuvar malzemesi, çuval, sentetik elyaf, margarin kabı, deterjan kutularının kapakları, şişe ve mutfak malzemelerinin üretiminde kullanılmaktadır.
- PET; yiyecek – içecek paketlemede, oyuncak ve su borularının üretiminde kullanılmaktadır.
- Polistren (PS); yoğurt ve margarin kaplarında, ambalajlarda, ses ve ısı yalıtımında kullanılmaktadır.
- Polivinil Klorür (PVC); sıvı deterjan ve kozmetik ürünlerinin ambalajlarında, profil, kapı, pencere imalatı, elektrik kablosu, tesisat malzemeleri ve boru üretiminde kullanılmaktadır.

### **2.1.2 Polietilen tereftalat (PET)**

Polietilen tereftalat (PET), tereftalik asit ya da dimetil tereftalat'ın monoetilen glikol ile reaksiyonundan elde edilen bir polimer olma özelliğini taşımaktadır (Küçükaltun ve Evliya, 2012). Bu özelliğinden dolayı, termoplastik bir malzeme olarak belirtilen PET, Polyester ailesinin bir üyesi konumundadır (Özel vd., 2011). PET, ham petrolün çeşitli petrol ürünlerine dönüştürülmesi için yapılan rafine edilme işleminden sonra ortaya çıkan hammaddelerden meydana gelmektedir (Akçaözoğlu, 2008). PET'in özelliklerini aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür (Evren, 2018):

- Yüksek fiziksel ve kimyasal dayanıma sahiptir.
- Hafiftir.
- Su absorpsiyonu ve gaz geçirgenliği düşük seviyededir.
- Şeffaf, parlak, düzgün yüzey ve iyi ışık geçirgenliğine sahiptir.
- İnsan sağlığına zararlı etkileri bulunmamaktadır.

- Kolay işlenebilmektedir.
- Kırılğan değildir.
- Taşınımı kolaydır.
- İçindeki sıvıyı koruyabilmektedir.

PET, ülkemizde ilk kez 1980'li yılların başında şişe olarak üretilmeye başlanmıştır. Üretilen bu şişeler, öncelikle suların ambalajlanmasında, kısa bir süre sonra ise sıvı gıda maddelerinin ambalajlanması aşamasında kullanılmıştır. PET şişelerin son zamanlardaki kullanımı ise; su, meşrubat ve yağ şişelerinin ambalajlanması aşamasında yaygın olarak gerçekleştirilmektedir (Özel vd., 2011).

Son yıllarda yapılan araştırmalarda, PET'in oluşturabileceği kaynak israfı ve çevre kirliliğinin önlenmesi amacıyla farklı sektörlerdeki firmalar tarafından geri kullanıldığı da belirlenmiştir. Bu sektörlerin arasında ülkemizde önemli bir seviye de yükseliş gösteren inşaat sektörü de bulunmaktadır. PET'ten elde edilen plastik parçaları, inşaat sektöründe, beton içerisinde katkı malzemesi olarak kullanılmakta ve bu parçalar PET agregası şeklinde ifade edilmektedir (MohammadiAhmadabad, 2014). Agregası; beton oluşumunda doğadan olduğu gibi alınan veya bir miktar kırıldıktan sonra kullanılan malzemeler olarak belirtilmektedir (Gönen vd., 2012). PET agregası, doğadan olduğu gibi alınmamakta ve bir miktar parçalandıktan sonra beton üretiminde kullanılmaktadır.

### **2.1.3 Atık PET agregalı betonlar konusunda yapılmış çalışmalar**

Sakin (2015) yaptığı çalışmada, atık granüller PET ile yapılan kendiliğinden konsolide betonların bazı mekanik, fiziksel, dayanıklılık ve taze haldeki özelliklerini araştırmıştır. Bu çalışmada, kendiliğinden yerleşen betonun (SCC) üretilmesi için PET şişe atıkları ince agregası olarak kullanılmıştır. Kendiliğinden yerleşen betonun üretiminde 4 mm'lik elekten geçirilen PET granülleri, hacimce ince agregası ile yer değiştirilerek kullanılmıştır. PET'in kendiliğinden yerleşen betonun taze haldeki özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. İncelenen taze haldeki özellikler akış çapı, T50 akış süresi ve V huni akış süresidir. Üretilen kendiliğinden yerleşen beton örneklerinin, PET agregasının EFNARC (Avrupa Birliği Ulusal Betonlar Federasyonu) kriterlerine uygundur. Ayrıca, PET agregasının kendiliğinden yerleşen betonun mekanik özelliklerine etkisini tespit

etmek için 28 günlük basınç dayanımı testi, ayrılma dayanımı testi sonuçları belirlenmiştir. Su emme deneyi, PET'in kendiliğinden yerleşen betonun geçirgenliği üzerindeki etkisini gözlemlemek için yapılmıştır. Çalışmada, kendiliğinden yerleşen betonun üretiminde PET granülometrisinin kullanılmasının kendiliğinden yerleşen betonun işlenebilirliğinin bozulmasına neden olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, kendiliğinden yerleşen betonun mekanik ve absorpsiyon özelliklerinde anlamlı bir değişikliğin olmadığını belirtilmiştir.

MohammadiAhmadabad (2014) yaptığı çalışmada, atık PET malzemelerin beton içerisinde kullanılabilirliğini araştırılmıştır. Çalışma ile betonun istenen özelliklerini geliştirmek ve bunun yanında çevresel bir tehdit olan atık PET malzemelerin yönetimine katkıda bulunulması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda, hacimce %0, %1, %1.5, %2, %3 ve %5 oranlarında PET, agrega yerine betona ilave edilmiştir. Betonun basınç ve eğilme dayanımı, birim ağırlık, ultrases geçiş hızı gibi özellikleri deneysel olarak tespit edilmiştir. Deneysel çalışmalar sonucunda; basınç ve eğilme dayanımları, birim ağırlık ve ultrases geçiş hızı değerlerine göre %5 oranına kadar atık PET agreganın kullanılabilmesi belirlenmiştir. Yapılan deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir;

- Beton içerisindeki atık PET agrega miktarının artması ile betonun birim hacim ağırlığı azalmıştır.
- Beton içerisindeki atık PET agrega miktarının artması ile taze betonun, çökmesi azalmıştır.
- Beton içerisindeki PET miktarı arttıkça basınç dayanımı azalmıştır. Fakat %1 ve %1.5 PET oranları da basınç dayanımı sırasıyla %6.96, %1.17 artmıştır. Nedeni olarak beton boşluklarının PET agrega tarafından doldurulması gösterilmiştir.
- Plastik agrega ilaveli betonların eğilme dayanımları beton içerisindeki plastik agrega miktarına göre farklılık göstermektedir. Burada plastik agregalar, şekillerinden dolayı beton içerisinde lif etkisi göstermişlerdir. %1 plastik agrega ilavesi eğilme dayanımında %11.22 artış göstermiştir.
- Sertleşmiş betonun birim ağırlık değerleri, beton içerisindeki atık PET agrega miktarı arttıkça azalma göstermiştir. Plastik birim ağırlığının normal agreganın

birim hacim ağırlığından daha düşük olduğu için PET agreganın miktarı arttıkça numunenin birim ağırlığı düşmüştür.

- Beton içerisindeki atık PET agrega miktarı arttıkça, ultrases geçiş hızı değerleri azalmıştır.
- Beton içerisine plastik agrega ilavesi ile daha hafif yapı elemanları üretilmektedir.
- Plastik agregalar ile çimento harcı arasındaki yapışma özelliğinin artırılması gerekmektedir. Çeşitli katkı maddeleri (uçucu kül, pirinç kabuğu, yüksek fırın cürufu, farklı bağlayıcı malzeme kullanımı vs.) kullanılarak bu özellik geliştirilebilir.

Memiş ve Örüng (2012) yaptıkları çalışmada, atık plastik şişeleri toplayarak kırılmış şekilde tarımsal yapılarda sıva malzemesi olarak kullanılabileceğini araştırmışlardır. PET, laboratuvarda kırılmış ve ince agrega, çimento, çimento-kireç ve kireç bağlayıcılarla belirli oranlarda agrega yerine sıva malzemesi olarak kullanılmıştır. Agrega ağırlığının %0, %2.5, %5, %7.5 ve %10 oranlarında atık PET agrega eklenerek örnekler hazırlanmış ve bu örneklerin bazı önemli fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenip şahit numunelerle karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırma sonucunda, atık PET agrega ile üretilen sıva örneklerinin özgül ağırlıkları, birim ağırlıkları, basınç dayanımları ve eğilme dayanımlarının düştüğü, su emme oranının arttığı, donma-çözülme dayanıklılığının azaldığı, ısı iletkenlik katsayıları ve çatlak oluşumlarının azaldığı tespit edilmiştir.

Özel, vd. (2011) yaptıkları çalışmada, sabit su / çimento oranı (0.55) ve iki farklı çimento tipi (CEM II/B-M (P-LL) 32.5 N ve CEM I 42.5 R) kullanarak hazırladıkları karışımlarda PPF'e alternatif olarak endüstriyel atık PET agregaların betonda kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Çalışmada, agrega yerine farklı oranlarda kullanılan PET ve PPF agregalarının betonun taze ve sertleşmiş haldeki özellikleri üzerindeki etkisi betonlarla karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. İncelemede, PET kullanım miktarına bağlı olarak betonun mekanik ve fiziksel performansını düştüğü, ancak piyasada kullanılan PPF'ye alternatif göre seçenek olarak kullanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Akçaözoğlu (2008) yaptığı çalışmada, PET'in hafif beton üretiminde agrega olarak kullanılabilirliğini araştırmıştır. Deneysel çalışmalarda kullanılan PET, SASA tesislerinden kırılmış şekilde temin edilmiş ve üzerinde herhangi bir işlem yapılmadan doğrudan agrega olarak kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlarda; hafif beton üretim maliyetinin, diğer geri dönüşümlü agregalarda daha düşük olduğunu tespit etmiştir.

Atış ve Akçaözoğlu (2008) yaptıkları çalışmada, PET ve uçucu küllü hafif harçların basınç dayanımlarını incelemişlerdir. Harç karışımların üretiminde 0.50 ve 0.60 olmak üzere iki farklı PET-bağlayıcı oranı ve agrega olarak 1-2 mm boyutlarındaki PET kullanılmıştır. Su-bağlayıcı oranları 0.45 ve 0.50 olarak belirlenmiş, Portland çimentosu ve uçucu kül bağlayıcı olarak kullanılmıştır. Uçucu küllü karışımlar, uçucu külün çimentoyla ağırlıkça %50 oranında yer değiştirilmesi sonucu elde edilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda, polietilen tereftalat (PET) agregalı harç numunelerin birim ağırlık değerlerinin hafif beton sınırları içinde olduğu tespit edilmiştir. PET/bağlayıcı oranının 0.50'den 0.60'a çıkmasıyla, ilk günlerde basınç dayanım değerlerinin düştüğü ancak yapılan gözlem sonucunda 90. günden itibaren bu durumun ortadan kalktığı belirtilmiştir. Su/bağlayıcı oranının 0.50'den 0.45'e düşmesinin ise, PET agregalı hafif harçların basınç dayanımı değerlerinin artmasına neden olduğu belirtilmiştir.

## **2.2 Yüksek Sıcaklık Etkisinde Beton**

Yüksek sıcaklık yapılar da kalıcı hasarlara yol açan fiziksel etkilerden biridir. Dayanıklılık problemi sonucu yapılar işlevlerini kaybedip can ve mal kayıplarına neden olabilmektedir (Baradan ve Aydın, 2013). Yüksek sıcaklık uygulama çalışması, betonun yapısal olarak şekil değiştirme, gerilme ve yangın dayanım hallerini iyileştirmek adına malzemelerin özelliklerindeki değişimin araştırılması nedeniyle yapılmaktadır (Demir, 2008).

### **2.2.1 Yüksek sıcaklık kaynakları**

Yapılarda ve yapılarda kullanılan malzemelerde hasara neden olan yüksek sıcaklık kaynakları; yangın, endüstri fırın bacaları, hava alanı pistleri ve nükleer reaktörler olmak üzere dört farklı şekilde sınıflandırılmaktadır (Mahsanlar, 2006).

### **2.2.1.1 Yangın**

Yakacakların oksijenle hızlı bir şekilde reaksiyona girmesi sonucunda yakacak içerisinde depolanmış olan enerjinin, ısı enerjisi olarak açığa çıktığı kimyasal işlem yanma olarak ifade edilmektedir (Mahsanlar, 2006). Yanma işlemi sırasında ortaya çıkan enerji, genel olarak sıcak gazlar şeklinde oluşmaktadır. Ancak bu enerjinin çok az miktarlarda elektromanyetik (ışık), elektrik (serbest iyonlar ve elektronlar) ve mekanik (ses) enerji olarak ortaya çıktığı da belirtilmektedir. Bu enerjilerin ortaya çıktığı yanma, yanıcı maddelerin oksijen ile kimyasal reaksiyon hızı, oksijen miktarı ve yanma bölgesindeki sıcaklığa bağlı olarak değişkenlik gösterebilmektedir (Ulu, 2016).

Yangın; katı, sıvı ve / veya gaz halindeki maddelerin kontrol dışı yanması sonucu yüksek sıcaklığa sebep olan bir olay olarak ifade edilmektedir. Yangın sırasında sıcaklığın 600 °C'yi aşarak 1200 °C'ye ulaşabileceği belirtilmektedir. Araştırmalara göre doğal bir yangın, genellikle ateşleme, yavaş yanma, ısınma ve soğuma olmak üzere dört fazdan oluşmaktadır. Ateşleme ve yanma fazları tüm-parlama öncesi (pre-flashover), ısınma ve soğuma fazları ise tüm-parlama sonrası (post-flashover) fazları olarak isimlendirilmektedir. Tüm-parlama öncesi fazı gelişmekte olan yangın, tüm-parlama sonrası fazı ise gelişmiş olan yangın durumunu göstermektedir (Karagöz ve Sağsöz, 2013).

### **2.2.1.2 Endüstri fırın bacaları**

Endüstri fırın bacalarının bazılarında sıcaklık 1250–1300 °C'ye kadar yükselebilmektedir. Oluşan bu sıcaklığın düşürülebilmesi amacıyla günümüzde, bacalarda bulunan artık ısı enerjisinin geri dönüşümü için ısı eşanjörleri (ısı değiştirici), ısı reküperatörleri (ısı geri kazanım cihazı), döner tip ısıtıcılar, ısı boruları ve ısı pompaları gibi bazı araçlar kullanılmaktadır. Bu araçların kullanımı ile endüstri fırın bacalarındaki sıcaklık yaklaşık 200 °C'ye kadar azaltılabilmektedir (Uçarkoşar, 2013).

### **2.2.1.3 Hava alanı pistleri**

Hava alanı pistlerinde uçakların kalkma ve inme faaliyetlerinde gerçekleşen sürtünmeler yüksek sıcaklığın meydana gelmesine neden olmaktadır. Ayrıca, jet motorlarından 260

km/saat hızla çıkan 196°C'deki egzoz gazları da sıcaklıkları arttırmaktadır. Tekrarlı ısınma ve soğuma hava alanı pistlerinde iniş ve kalkışlardaki aşınma ve tozlanmanın oluşmasını sağlamaktadır (Uçarkoşar, 2013).

#### **2.2.1.4 Nükleer reaktörler**

Nükleer reaktörlerde reaktörü koruyan beton yüksek sıcaklığa maruz kalmaktadır. Çünkü bu reaktörlerde, sistemin sıcak parçalarından transfer olan ısı nötron ve gama ışınlarının baskısı yüksek sıcaklığın oluşmasına neden olmaktadır. Radyasyonun koruyucu betona önemli bir zarar vermemesine rağmen, oluşan sıcaklık ile beton zayıf hale gelmekte ve nötron baskısına karşı etkisi azalmaktadır. Hızlı nötron ve gama ışınlarının hızı yavaşlatılırken reaktör çekirdeğinden açığa çıkan enerji, koruyucu malzemede tutularak ısı şeklinde yayılmaktadır. Yayılan bu ısı reaktör çekirdeğine yakın bölgeleri etkilemektedir. Tipik bir sodyum–beton reaksiyonu 400 °C'de başlar ve kısa bir süre sonra sodyum yakma havuzlarının da etkisi ile sıcaklık 800 °C'den daha yüksek bir değere ulaşabilmektedir (Mahsanlar, 2006).

#### **2.2.2 Yüksek sıcaklığın betona etkisi**

Diğer malzemelere göre betonun avantajları sıralandığında arzu edilen şekil veya boyutlarda üretilebilmesi, başka taşıyıcı malzemelere oranla yangın veya yüksek sıcaklık etkisi altında dayanımı yüksek malzeme olması gibi özellikleri söylenebilir (Erdoğan, 2003).

##### **2.2.2.1 Yüksek sıcaklığın çimento hamuruna etkisi**

Isınma aşamasında önemli fiziksel ve kimyasal değişimlere uğrayan çimento hamuru, en kararsız beton bileşeni olarak belirtilmektedir (Karaduman, 2008). Çimento hamurunun yapısında yer alan serbest su, yaklaşık 100–200 °C civarındaki düşük ısılarda buharlaşmaktadır. Yaklaşık 300 °C ve üzerinde çimento hamuru yapısında bulunan bağlı su kaybı ve kimyasal çözülme, 600 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda ise termal etkiler önem taşımaktadır. Bağlı su kaybı ve kimyasal ayrışma, çimento hamurunun mikro yapısında değişikliklere neden olmaktadır (Gülce, 2009 ; Kurt, 2012).

Yüksek sıcaklığa bağlı olarak sertleşmiş çimento hamurundaki mevcut safhalar, hidrate olmuş çimento safhalarının dehidratasyonu sonucu oluşan büzülme  $\text{Ca(OH)}_2$  ve hamurun hidrate olmamış bölümlerinin 450 °C'ye kadar genişmesi sonucu farklı deformasyonlar göstermesidir (Karaduman, 2008).

### **2.2.2.2 Yüksek sıcaklığın agregaya etkisi**

Beton üretiminde kullanılan kum, çakıl, kırmataş gibi malzemeler agrega olarak ifade edilmektedir. Beton için önemli bir bileşen olan agrega, betonun içerisinde %60–75 'lik bir hacme sahiptir (MohammadiAhmadabad, 2014). Agreganın tipi, porozitesi ve mineralojisinin yüksek sıcaklık etkisi altında kalan betonun davranışı üzerinde etkisi bulunmaktadır. Agregada yüksek sıcaklıktan dolayı faz dönüşümleri, termal ayrışmanın yanı sıra betonun yangına tepkisi agreganın mineralojisinden etkilenmektedir. Agreganın mineralojisinden, agrega ve çimento hamuru arasındaki farklı termal genişmeleri ve geçiş bölgesi dayanımı belirlenmektedir (Karaduman, 2008).

Artan ısı, agregalarda ısıl genişleme ve iç gerilmelere yol açtığı için mikro çatlaklar oluşabilmektedir. Farklı agregalar yüksek sıcaklıkların etkisinde kaldığı zaman farklı mekanik ve kimyasal özellikler gösterebilmektedir. Kuvars silisli agregalarda hacim genişlemesinden dolayı betonda hasar oluşmaktadır. Kalkerli agregalarda ise 800–900 °C'den sonra  $\text{CaCO}_3$  reaksiyona girmekte ve  $\text{CO}_2$  ayrışmaktadır. Bu ayrışma sonucunda meydana gelen hacim genişmeleri betona zarar vererek basınç dayanım kayıpları ve mikro çatlak oluşumlarına sebep olmaktadır (Dakman, 2017).

### **2.2.2.3 Yüksek sıcaklığın betonun fiziksel özelliklerine etkisi**

Yüksek sıcaklık, betonun fiziksel özellikleri olarak ifade edilen gözeneklilik, betonun rengi, kütle ve yoğunluk üzerinde bazı farklılıklara neden olmaktadır (Gökçer, 2013). Sıcaklığın artması, boşluklarda bulunan suyun buharlaşarak kütlelerinin azalmasını, genişleme olması nedeni ile de hacminin artmasını sağlamaktadır. Yüksek sıcaklığın etkisinde bırakılan betonun renginde ortaya çıkan değişikliklere bakılarak kalker ve silis esaslı agregalı betonun sıcaklığı hakkında tahmin yürütülebilmektedir. Yapılan daha önceki çalışmalarda, özellikle silisli dere agregaları ile üretilen betonlarda, örneğin renk

pembe ya da kırmızı ise sıcaklığın 300–600 °C'ye, renk gri ise 600–900 °C'ye yükseldiği gözlemlenmiştir (Kaya, 2014).

#### **2.2.2.4 Yüksek sıcaklığın betonun mekanik özelliklerine etkisi**

Yüksek sıcaklık, betonun fiziksel özelliklerinin yanı sıra elastisite modülü, çekme dayanımı ve basınç dayanımı gibi mekanik özelliklerini de etkilemektedir. Yüksek sıcaklığın etkisinde kalan betonun basınç dayanımı, su/bağlayıcı oranı, agrega türü, çimento tipi, kullanılan malzemelerin özellikleri, ısınma ve soğuma hızı, nem durumu, sıcaklığa maruz kalınan süre, yükleme durumu gibi çevresel faktörlerden de etkilenmektedir. Silindir numuneler, değişik sıcaklık etkisinde bırakılıp soğutulma işlemi gerçekleştikten sonra yarmada çekme deneyi ile elde edilen dayanımlarında 100 °C'de dahil olmak üzere önemli düşüşler olduğu ve 600 °C'de oluşan kaybın %70'e kadar ulaştığı gözlemlenmiştir. Yüksek sıcaklık, elastisite modülü üzerinde de etkilere neden olmaktadır. Lineer bir azalma olarak belirtilen bu etkiye göre, azalma betondaki mikro çatlakların ve boşluk oranının artmasına neden olmaktadır. Bu durum da malzemenin yumuşamasına yol açmaktadır (Kaygusuz, 2018).

## BÖLÜM III

### MALZEME ÖZELLİKLERİ VE DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu bölümde, deneysel çalışmada kullanılan malzemelerin kimyasal bileşimi ve fiziksel özellikleri ile harç karışımlarında kullanılan malzeme miktarları, numune boyutları ve bu numuneler üzerinde gerçekleştirilen deneysel çalışmalar hakkında bilgi verilmektedir.

#### 3.1 Kullanılan Malzeme Özellikleri

Harç üretiminde kullanılan çimento, doğal agrega ve atık PET agrega özellikleri aşağıda belirtilmiştir.

##### 3.1.1 Çimento

Bu çalışmada, Niğde ÇİMSA Çimento Fabrikası tarafından üretilen, TS EN 197-1 (2012) standardı ile uyumlu CEM I 42,5 R tipi Portland çimentosu kullanılmıştır. Çimentonun taze olarak kullanılmasına özen gösterilmiş ve laboratuvar ortamında çimentonun nem almaması için paketleme yapılarak korunmuştur. Deneysel çalışmalarda, kullanılan CEM I 42,5 R Portland çimentosuna ait kimyasal özellikler Çizelge 3.1’de, fiziksel özellikler ise Çizelge 3.2’de verilmiştir. Çimentonun kimyasal özellikleri ve fiziksel özellikleri ile ilgili değerleri Niğde ÇİMSA Çimento Fabrikası’ndan alınmıştır.

**Çizelge 3.1.** Kullanılan çimentonun kimyasal özellikleri

Kimyasal bileşenler	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Cl	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	K.K
Miktar (%)	21.16	5.79	2.65	60.61	1.28	0.01	3.10	0.33	0.52	1.13

**Çizelge 3.2.** Kullanılan çimentonun fiziksel özellikleri

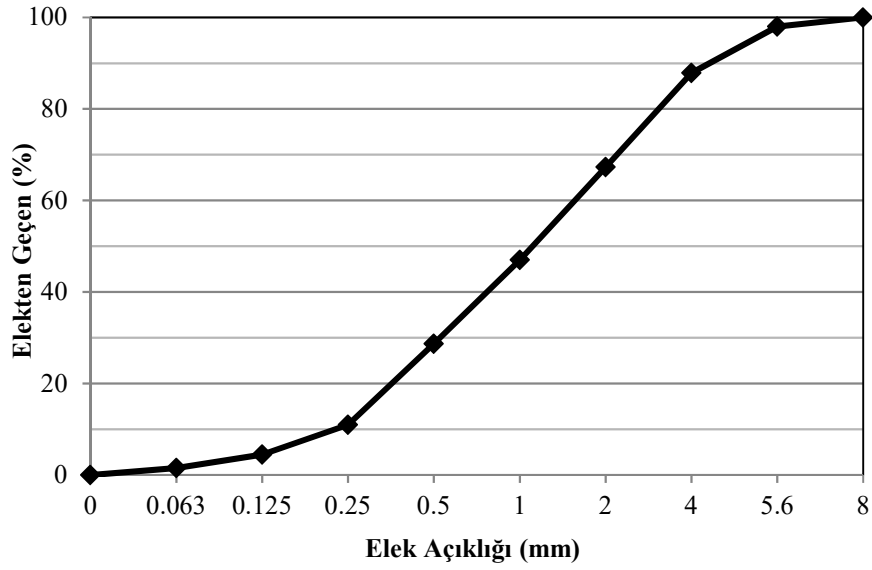
Özgül Ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> )	3.10	
Priz süresi	İlk (Dakika)	110
	Son (Dakika)	140
İncelik	Özgül yüzey (cm <sup>2</sup> /gr)	3380
	0.040 mm elek kalıntısı (%)	11.13
	0.090 mm elek kalıntısı (%)	0.79
Basınç Dayanımı (MPa) 2 günlük	27.71	
Basınç Dayanımı (MPa) 28 günlük	50.50	

### 3.1.2 Agregata

Deneysel çalışmalarda, Nevşehir ili Kızılırmak üzerindeki kum ocaklarından temin edilen ince agregata kullanılmıştır. İnce agregatanın su emme kapasitesi ve özgül ağırlık tayini TS EN 1097-6 (2013)'ya uygun olarak, piknometre yöntemine göre rastgele alınan numuneler üzerinde yapılmıştır. Kullanılan agregatanın özgül ağırlığı ve su emme kapasitesi sırasıyla 2.58 ve %1.56 olarak bulunmuştur. Harç numunelerinin hazırlanmasında kullanılan ince agregatanın TS 706 EN 12620+A1 (2009)'a göre elek analizi yapılarak Çizelge 3.3'te ve ince agregataya ait granülometri eğrisi ise Şekil 3.1'de verilmiştir.

**Çizelge 3.3.** İnce agregatanın elek analiz değerleri

Elek Genişliği (mm)	Elek Üzerinde Kalan (gr)	Elek Üzerinde Kalan (%)	Kümülatif Kalan (%)	Kümülatif Geçen (%)
8	0	0	0	100
5.6	20.15	2.02	2.02	97.99
4	101.61	10.16	12.18	87.82
2	205.73	20.57	32.75	67.25
1	202.74	20.27	53.02	46.98
0.5	182.95	18.29	71.32	28.68
0.25	177.50	17.75	89.07	10.93
0.125	64.65	6.47	95.53	4.47
0.063	29.8	2.98	98.51	1.49
Tava	14.87	1.49	100	0
Toplam	1000			



**Şekil 3.1.** İnce agreganın granülometri eğrisi

### 3.1.3 Atık polietilen (PET) şişe kırıkları

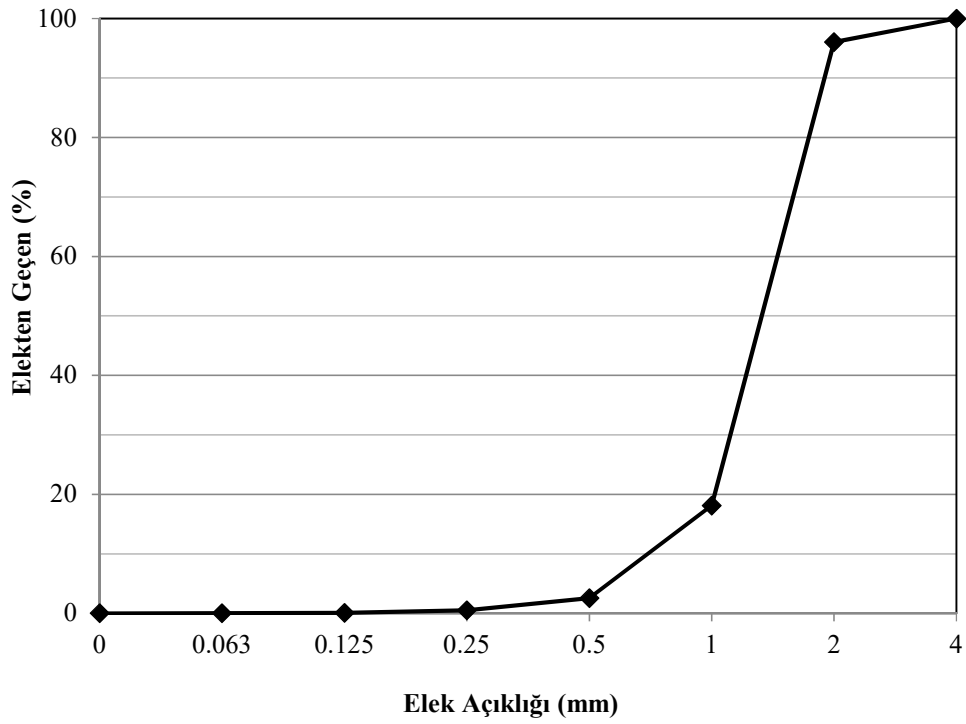
Karışımlarda agrega olarak kullanılan atık PET şişe kırıkları Adana SASA Polyester Sanayi Fabrikası'ndan temin edilmiştir. Toplanan atık PET şişeler SASA tesislerinde ayrılarak temizlenmekte ve fabrikadaki makinelerde küçük parçalar halinde kesilmektedir. Elde edilen PET şişe kırıkları çeşitli eleklerden geçirilerek geri dönüşüm uygulamalarında kullanılmaktadır. Bu çalışmada, elyaf yapımında kullanılmayacak kadar küçük olan ve “elek altı” olarak tabir edilen, maksimum dane boyutu 4 mm olan PET kırıkları agrega olarak kullanılmıştır (Fotoğraf 3.1). Kullanılan PET agreganın özgül ağırlığı 1.27 olarak tespit edilmiştir. PET agreganın elek analiz değerleri Çizelge 3.4'te yer almaktadır.



**Fotoğraf 3.1.** Çalışmada kullanılan PET kırıkları

**Çizelge 3.4.** Atık PET agreganın elek analiz değerleri

Elek Genişliği (mm)	Elek Üzerinde Kalan (gr)	Elek Üzerinde Kalan (%)	Kümülatif Kalan (%)	Kümülatif Geçen(%)
8	0	0	0	100
5.6	0	0	0	100
4	0	0	0	100
2	39.7	3.97	3.97	96.03
1	779	77.90	81.87	18.13
0.5	156	15.60	97.47	2.53
0.25	20.3	2.03	99.50	0.50
0.125	4.3	0.43	99.93	0.07
0.063	0.5	0.05	99.98	0.02
Tava	0.2	0.02	100	0
Toplam	1000			



**Şekil 3.2.** PET agreganın elek analizlerinin grafiksel gösterimi

### **3.1.4 Kimyasal katkı malzemesi**

Karışımlarda işlenebilirliği sağlamak amacıyla TS EN 934-2+A1'ye (2013) uygun olarak yüksek oranda su azaltıcı süper akışkanlaştırıcı katkı maddesi kullanılmıştır. Kullanılan süper akışkanlaştırıcı polikarboksilik eter esaslı olup yüksek oranda su azaltan, erken ve nihai yüksek dayanım sağlayan, yoğunluğu 1.082-1.142 kg/litre arasında değişkenlik gösteren, pH değeri 6-7 arasında olan, koyu kahve renkli bir katkıdır.

### **3.1.5 Karışım ve bakım suyu**

Deneylerde kullanılan karışım ve bakım suyu şehir şebekesinden alınan içme suyudur. Harç karışım ve bakım suyunun kalitesi ile ilgili Türk Standardı TS EN 1008 (2003) olup, karma ve bakım suyu, genel anlamda içilebilir su olarak ifade edilmektedir.

### **3.2 Harç Karışım Oranları**

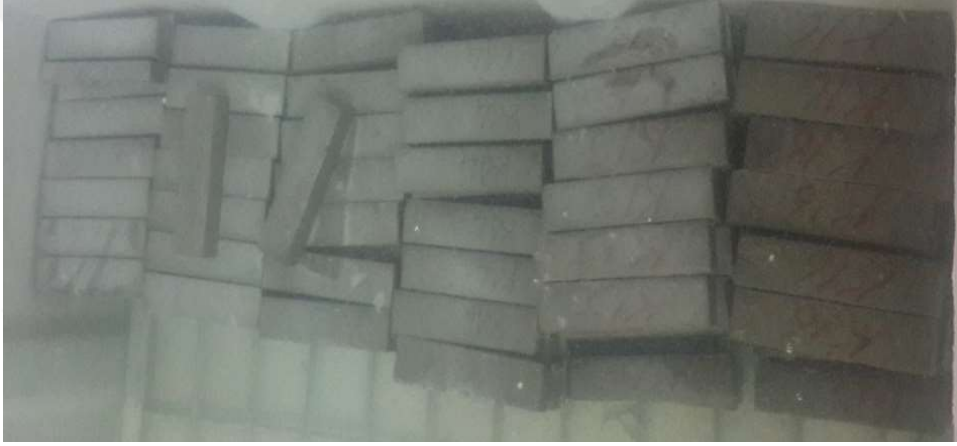
Karışımlarda kullanılan çimento:kum:su (Ç:K:S) oranı (1:2,75:0,5)'dir. Atık PET agregalı numuneler, şahit numunenin agregasının hacimce %2.5, %5, %10, %20 ve %30 oranlarındaki PET agrega ile yer değiştirilmesiyle elde edilmiştir. Böylece, şahit numuneye birlikte toplam 6 farklı karışım hazırlanmıştır. Şahit karışımı K1 olmak üzere %2.5, %5, %10, %20 ve %30 oranlarında pet agrega içeren diğer karışımlar sırasıyla K2, K3, K4, K5 ve K6 olarak isimlendirilmiştir.

### **3.3 Numunelerin Üretimi ve Kürü**

Hazırlanan harç karışımlar 40 mm x 40 mm x 160 mm boyutlarındaki kalıplara dökülerek sertleşmesi için laboratuvar ortamında bırakılmıştır (Fotoğraf 3.2). 24 saat sonra numuneler kalıplardan çıkarılmış ve Fotoğraf 3.3'te görülen kür havuzunda  $20 \pm 2$  °C sıcaklıkta 50 gün boyunca kür edilmiştir. Daha sonra havuzdan çıkarılan numuneler 40 gün boyunca deney sürelerine kadar laboratuvar ortamında bekletilmiştir (Fotoğraf 3.4).



**Fotoğraf 3.2.** Taze beton numuneleri



**Fotoğraf 3.3.** Kür havuzunda bekletilen numuneler



**Fotoğraf 3.4.** Laboratuvar ortamında bekletilen numuneler

### 3.4 Numuneler Üzerinde Yürütülen Çalışmalar

Bu bölümde, atık PET agrega kullanılarak üretilen taze ve sertleşmiş harç numuneler üzerinde gerçekleştirilen deneylere yer verilmiştir.

#### 3.4.1 Taze beton deneyleri

##### 3.4.1.1 Birim ağırlık

Numunelerin taze haldeyken TS EN 1015-6 (2000)'e uygun olarak yaş birim ağırlıkları ölçülmüştür. Deneyler 3 numune üzerinde yapılmış ve bu numunelerin ortalamaları alınmıştır.

##### 3.4.1.2 Yayılma tablası

Taze harç karışımları üzerinde TS EN 1015-3 (2000)'e uygun olarak yayılma tablası ölçümleri yapılmıştır (Fotoğraf 3.5). Karışımların yayılma çapı  $160 \pm 10$  mm olacak şekilde ayarlanmıştır. Bu amaçla karışımlara akışkanlaştırıcı katkı maddesi eklenmiştir. Yayılma çapları birbirlerine dik olacak şekilde iki yönden ölçülmüş ve ortalaması alınmıştır.



**Fotoğraf 3.5.** Yayılma tablası deneyi

### 3.4.2 Sertleşmiş beton deneyleri

#### 3.4.2.1 Ağırlık kaybı

Numuneler üzerinde ağırlık kaybı deneyi yapılmıştır. Numunelerin ağırlık kaybı 3.1 eşitliği yardımıyla, yüksek sıcaklığa maruz bırakılmadan önce ve yüksek sıcaklık uygulandıktan sonra numunelerin ağırlıkları ölçülüp, yüksek sıcaklığa maruz bırakılmadan önceki ağırlıklarına bölünerek hesaplanmıştır.

$$\text{Ağırlık kaybı} = \frac{A-B}{A} \times 100 \quad (3.1)$$

A : Yüksek sıcaklığa maruz bırakılmadan önceki numune ağırlığı

B : Yüksek sıcaklığa maruz bırakılan numune ağırlığı

#### 3.4.2.2 Yüksek sıcaklığa maruz kalan numunelerde yürütülen çalışmalar

Yüksek sıcaklığa maruz bırakılacak numuneler 50 gün standart kür havuzunda ve 40 gün laboratuvar koşullarında bekletildikten sonra sıcaklık artış hızı 5 °C/dk olan bir elektrikli fırına yerleştirilerek 100, 150, 200, 250, 300 ve 400 °C sıcaklıklara kadar ısıtılmışlardır (Fotoğraf 3.6).

Numuneler hedeflenen sıcaklığa ulaştıktan sonra 1, 2 ve 3 saat süreyle yüksek sıcaklığa maruz bırakılmıştır. Sıcaklık uygulaması sonrası fırın kapağı az miktarda açılarak numunelerin yavaş bir şekilde soğuması sağlanmıştır. Her bir sıcaklık değeri ve süresi için her karışımdan 3'er numune olmak üzere 18 numune kullanılmıştır. Fırın içerisinden alınan numuneler, tamamen soğumaları amacıyla 24 saat laboratuvar ortamında bekletilmiştir. Yüksek sıcaklık uygulanmış ve tamamen soğumuş numuneler üzerinde ağırlık kaybı, ultrases geçiş hızı, eğilmede çekme dayanımı ve basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır.



**Fotoğraf 3.6.** Deney numunelerinin yüksek sıcaklığa maruz bırakılması

### 3.4.2.3 Ultrases geçiş hızı

Yüksek sıcaklık uygulaması öncesi ve sonrası numunelerin ultrases geçiş hızlarının belirlenmesi amacıyla, TS EN 12504-4 (2012)'ye uygun 0,1  $\mu$ s duyarlılığı olan ultrases aleti ile ses geçiş süreleri (t)  $\mu$ s cinsinden ölçülmüştür. Ses geçiş sürelerinin ölçülmesinde numune yüzeyindeki pürüzlerin oluşturduğu boşlukları doldurmak amacı ile numunelerin alt ve üst yüzeylerine ultrason jeli sürülmüş 55 kHz'lik ses dalgaları gönderen ve alan iki transduser numunenin düzgün yüzeylerine yerleştirilmiş, direkt iletim yöntemi uygulanarak ses geçiş süresi (t,  $\mu$ s cinsinden) alınmıştır. Her numune için yangın öncesi ve sonrası iki farklı değer okunmuştur.



**Fotoğraf 3.7.** Ultrases geçiş hızının ölçülmesi

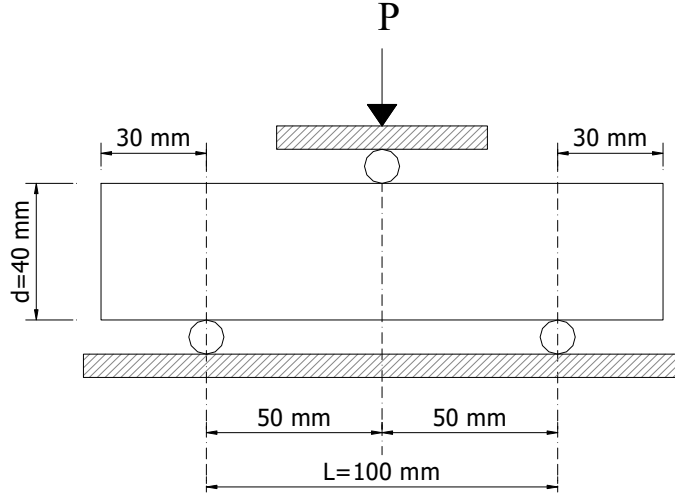
#### 3.4.2.4 Eğilmede çekme dayanımı

Eğilme deneylerinde kullanılan prizmanın alt kısmı çekme gerilmelerine maruz kaldığı için, eğilme yükü uygulayarak bulunan gerilmeler eğilmede çekme dayanımı olarak ifade edilmektedir (Erdoğan, 2003). Harç numuneler 50 gün standart kür havuzunda ve 40 gün laboratuvar koşullarında bekletilip yüksek sıcaklığa maruz bırakıldıktan sonra eğilmede çekme deneyine tabi tutulmuştur. Harç numunelerin eğilmede çekme dayanımını bulmak için, prizmatik numuneler TS EN 196-1 (2016)'de belirtildiği gibi  $50 \pm 10$  N/sn yükleme hızı ile üç noktadan yükleme deneyine tabi tutulmuştur.



**Fotoğraf 3.8.** Eğilmede çekme deney düzeneği

Eğilmede çekme dayanımı deney sisteminin ölçüleri Şekil 3.3’de verilmiştir (Akçaözöğlü, 2008). Bulunan kırılma yükü eğilmede çekme gerilmesinin hesaplanması için kullanılmıştır. Üç numune için ayrı ayrı bulunan sonuçların ortalaması alınarak eğilme dayanımı eşitlik 3.2 yardımıyla hesaplanmıştır.



Şekil 3.3. Eğilme deneyi

$$\sigma = \frac{1.5PL}{bd^2} \quad (3.2)$$

P : Uygulanan kuvvet

L : Destek silindirleri arasındaki mesafe

b : Numune kesitinin dar kenar uzunluğu

d : Numune kesitinin yüksekliği

$\sigma$  : Eğilme dayanımı

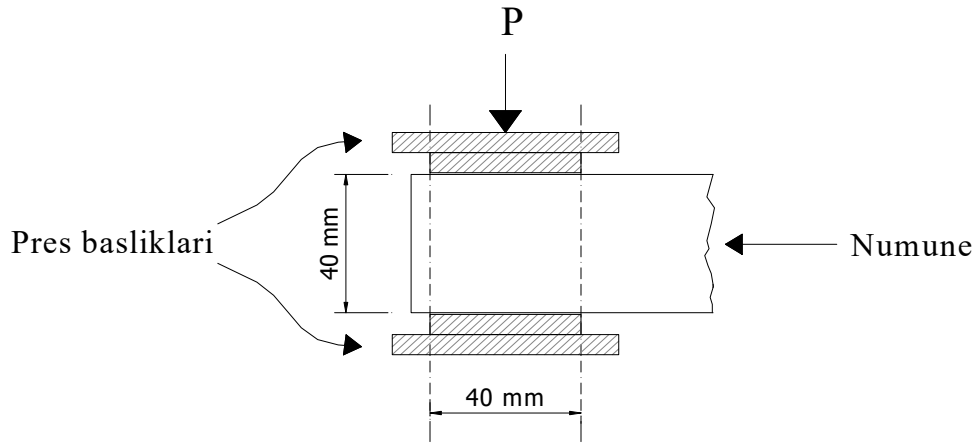
#### 3.4.2.5 Basınç dayanımı

Harç numuneler 50 gün standart kür havuzunda ve 40 gün laboratuvar koşullarında bekletilip yüksek sıcaklığa maruz bırakıldıktan sonra TS EN 196-1 (2016)’e göre basınç deneyine tabi tutulmuştur. Eğilmede çekme deneyi sonucunda ikiye ayrılmış numunelerin her bir parçası basınç dayanımı deneyinde kullanılmıştır. Eğilme dayanımı deneyi sonucu elde edilen 3 adet numune basınç dayanımı deneyine tabi tutulmuş ve 3 değerinin ortalaması alınmıştır. Numuneler, deney aygıtının içerisine kırık yüzeyi yana gelecek şekilde yerleştirilmiştir. Numunenin alt ve üstüne 40 mm x 40 mm’lik metal

başlıklar yerleştirilmiş ve numune 2400±200 N/sn yükleme hızı ile basınç dayanımı deneyleri gerçekleştirilmiştir. Kırma başlıkları arasındaki prizma 40 mm x 40 mm x 40 mm'lik bir küp görevi görmektedir (Fotoğraf 3.9). Bu şekilde yüklemeye tabi tutulan numunelerin basınç değerleri 3.3 eşitliği yardımıyla bulunmuştur. Basınç dayanımı deney sisteminin ölçüleri Şekil 3.4'de verilmiştir (Akçaözoğlu, 2008). Basınç dayanım değeri 3 adet numuneden elde edilen sonuçların ortalaması alınarak tespit edilmiştir.



**Fotoğraf 3.9.** Basınç dayanımı tayininde kullanılan deney düzeneği



**Şekil 3.4.** Basınç deneyi

$$f_c = \frac{P}{A_c} \quad (3.3)$$

$f_c$  : Basınç dayanımı

$P$  : Prestele kırılma anında okunan en büyük yük

$A_c$  : Numunenin basınç yükü uygulanan kesit alanı

## BÖLÜM IV

### BULGULAR VE TARTIŞMA

#### 4.1 Taze Harç Deneyleri

##### 4.1.1 Yayılma tablası

Yürütülen deneysel çalışmada, tüm karışımların yayılma çapları  $160\pm 10$  mm olacak şekilde ayarlanmıştır. Yayılma çapı düşük olan karışımlara süper akışkanlaştırıcı katkı ilave edilerek yayılma çaplarının istenilen değere ulaşması sağlanmıştır. Çizelge 4.1’de karışımlara ait yayılma çapı değerleri ve kullanılan akışkanlaştırıcı katkı miktarları verilmiştir.

**Çizelge 4.1.** Karışımlara ait yayılma çapları ve katkı miktarları

Karışım	K1	K2	K3	K4	K5	K6
Yayılma Çapı (mm)	165	160	157	155	165	150
Katkı Miktarı (%)	--	--	--	--	1	1

Çizelge 4.1 incelendiğinde, PET miktarı arttıkça karışımın yayılma çapının azaldığı görülmektedir. %10 PET miktarına kadar yayılma çaplarında az da olsa bir azalma görülmüştür. Bunun sebebinin agrega ile yer değiştirilen PET’in yüzeyinin ve şeklinin yayılmayı engellemesinden kaynaklandığı düşünülmüştür. Ancak %20 PET oranına sahip olan K5 karışımında PET’in yayılma çapına olumsuz etkisi daha net bir şekilde görülmüş kıvamı arttırabilmek amacıyla karışıma %1 oranında süper akışkanlaştırıcı ilave edilmiştir. %30 PET oranına sahip olan K6 karışımında yayılma çapı azalmış ancak hedef kıvam sınırları içerisinde kaldığından %1 katkı miktarı yeterli görülerek müdahale edilmemiştir.

##### 4.1.2 Birim hacim ağırlık

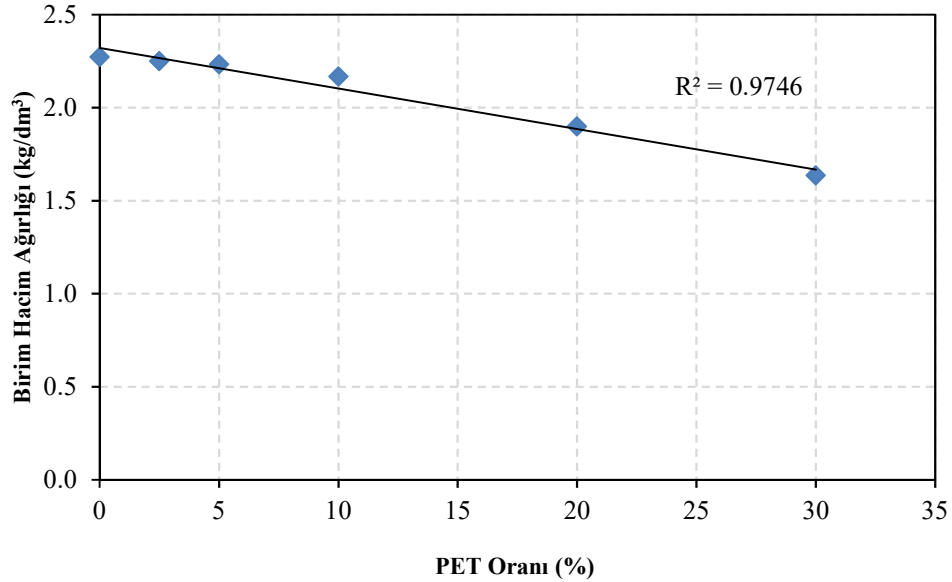
Deneysel çalışmada üretilen harç numunelerinin taze halde iken birim hacim ağırlıkları ölçülmüş ve Çizelge 4.2’de sunulmuştur. Çizelge 4.2 incelendiğinde, harç karışımların

birim hacim ağırlıklarının 1.64-2.27 kg/dm<sup>3</sup> arasında değiştiği görülmüştür. Karışımların içerisindeki PET agrega miktarlarının artması ile birlikte numunelerin birim hacim ağırlıklarında azalma olduğu tespit edilmiştir. K2, K3, K4, K5 ve K6 karışımlarının birim hacim ağırlıkları K1 karışımına oranla sırasıyla %1, %1.7, %4.7, %16.4 ve %28 azalmıştır. PET agreganın özgül ağırlığının (1.27) ince agreganın özgül ağırlığından daha düşük (2.58) olması nedeniyle PET agrega kullanılarak üretilen numunelerin birim hacim ağırlıkları azalmıştır. Bu durum literatür ile uyumludur (Akçaözoğlu, 2013; Ulu, 2016).

**Çizelge 4.2.** Karışımlara ait birim hacim ağırlık değerleri

Karışım	K1	K2	K3	K4	K5	K6
Birim Ağırlık(kg/dm <sup>3</sup> )	2.27	2.25	2.23	2.17	1.90	1.64

Şekil 4.1’de karışımdaki PET agrega miktarı ile birim hacim ağırlığı arasındaki ilişki verilmiştir. Şekil 4.1’de karışımdaki PET miktarı ile birim hacim ağırlığı arasında doğrusal ve kuvvetli bir ilişkinin olduğu ve PET miktarı arttıkça birim ağırlık değerlerinin azaldığı görülmektedir.



**Şekil 4.1.** PET agrega miktarı ile birim hacim ağırlığı arasındaki ilişki

## 4.1 Sertleşmiş Harç Deneyleri

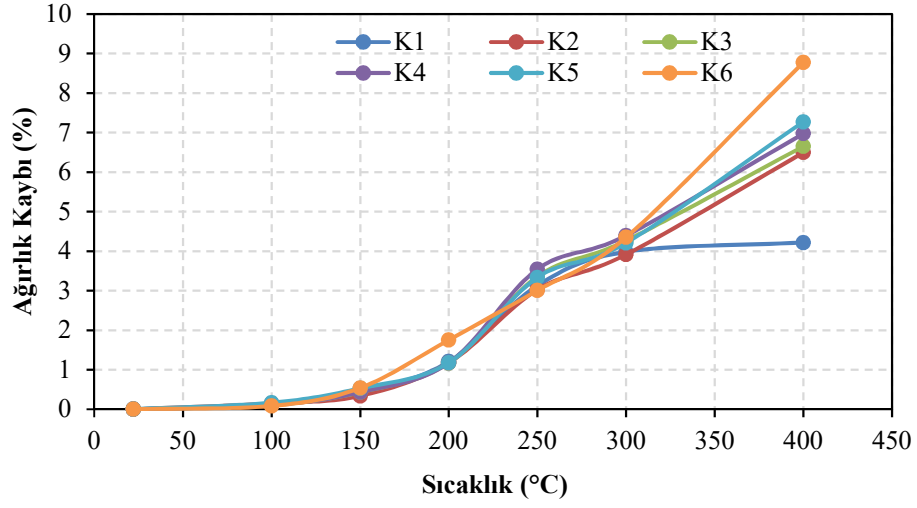
### 4.1.1 Ağırlık kaybı

Harç numuneleri 100, 150, 200, 250, 300 ve 400 °C sıcaklıklara 1, 2 ve 3 saat süre boyunca maruz bırakılmış ve ağırlık kayıpları belirlenmiştir. Tüm numunelere ait ağırlık kaybı değerleri Çizelge 4.3'te verilmiştir.

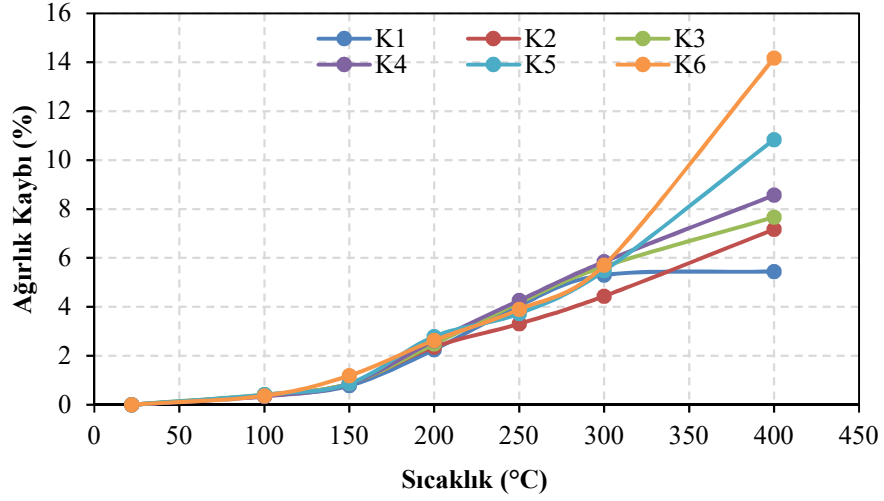
**Çizelge 4.3.** Numunelerin ağırlık kaybı değerleri (%)

Karışım	Süre (saat)	Uygulanan Sıcaklık					
		100 °C	150 °C	200 °C	250 °C	300 °C	400 °C
K1	1	0.12	0.42	1.21	3.13	3.98	4.22
	2	0.37	0.78	2.25	4.05	5.30	5.45
	3	0.48	1.49	3.34	5.32	5.86	7.22
K2	1	0.15	0.34	1.18	3.03	3.92	6.50
	2	0.38	0.86	2.36	3.31	4.44	7.17
	3	0.48	1.55	3.32	5.17	5.92	7.55
K3	1	0.11	0.43	1.17	3.36	4.27	6.65
	2	0.41	0.86	2.48	4.17	5.65	7.67
	3	0.44	1.51	3.58	5.28	5.77	7.90
K4	1	0.11	0.43	1.18	3.54	4.40	6.97
	2	0.34	0.84	2.62	4.26	5.84	8.57
	3	0.44	1.58	3.68	5.23	6.20	9.33
K5	1	0.17	0.53	1.18	3.34	4.21	7.27
	2	0.41	0.86	2.79	3.73	5.48	10.84
	3	0.49	2.05	3.40	4.81	5.87	12.15
K6	1	0.08	0.54	1.76	3.01	4.35	8.78
	2	0.37	1.19	2.63	3.90	5.71	14.17
	3	0.65	1.85	3.23	4.93	6.42	15.67

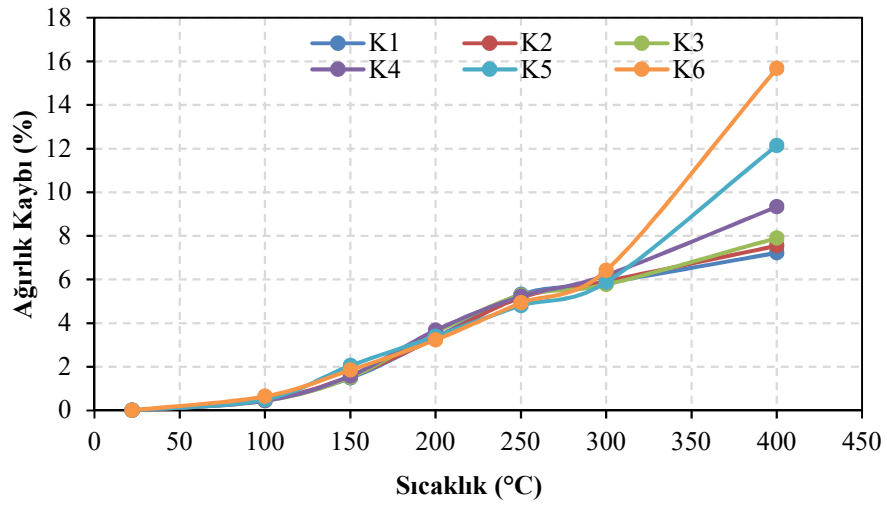
Şekil 4.2-4'te sırasıyla 1, 2 ve 3 saat boyunca yüksek sıcaklık uygulanan numunelerde sıcaklık artışının ağırlık kaybına etkisi verilmiştir. Şekil 4.2-4 incelendiğinde, uygulanan tüm sıcaklık süreleri için sıcaklığın artması ile birlikte numunelerin ağırlık kayıplarının da arttığı görülmektedir. 200 °C'ye kadar numunelerin ağırlık kayıpları çok fazla olmazken 200 °C'den sonra kayıplar artmış ve 400°C'de belirgin bir şekilde yükselmiştir. 100 °C'de numunelerin ağırlık kaybı 0.11 ile 0.65 arasında, 200 °C'de 1.17 ile 3.68 arasında değişirken, 400 °C'de 4.22 ile 15.67 arasında değişmiştir. PET'in erime sıcaklığının (235-265 °C Anabal,2007) üzerine çıkılması ağırlık kaybının da çok belirgin şekilde değişmesi ile sonuçlanmıştır.



Şekil 4.2. 1 saat sıcaklığa maruz kalan numunelerin sıcaklık ağırlık kaybı ilişkisi

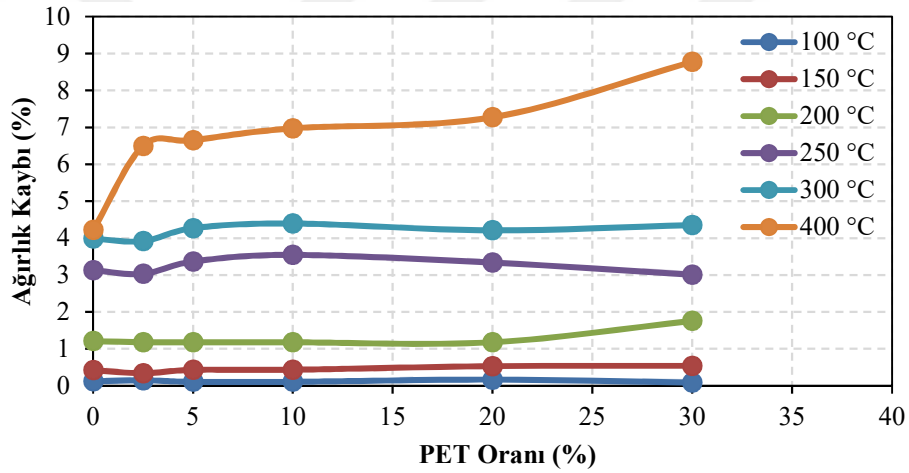


Şekil 4.3. 2 saat sıcaklığa maruz kalan numunelerin sıcaklık ağırlık kaybı ilişkisi

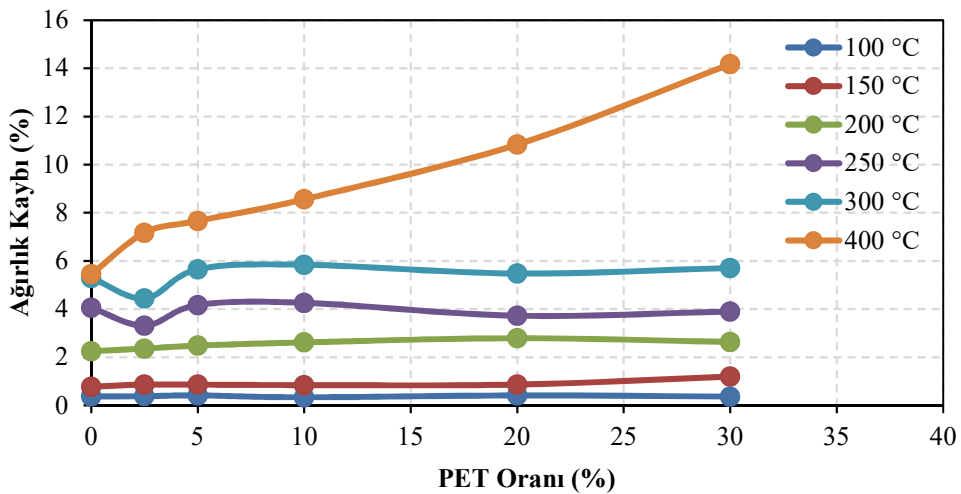


Şekil 4.4. 3 saat sıcaklığa maruz kalan numunelerin sıcaklık ağırlık kaybı ilişkisi

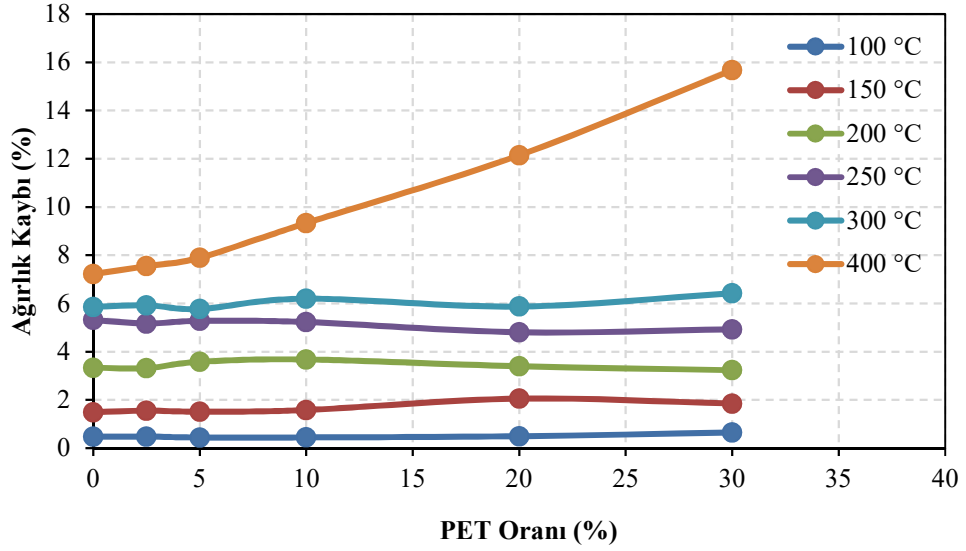
Şekil 4.5-7’de sırasıyla 1, 2 ve 3 saat boyunca yüksek sıcaklık uygulanan numunelerde PET miktarının ağırlık kaybına etkisi verilmiştir. Şekil 4.5-7 incelendiğinde, 100, 150 ve 200 °C sıcaklık uygulanan tüm sürelerde (1,2 ve 3 saat) PET miktarının ağırlık kaybında etkili olmadığı görülmüştür. 250 ve 300 °C sıcaklıkta ise ağırlık kaybı bir miktar artmakla birlikte yine PET agrega miktarının ağırlık kaybında etkili olmadığı görülmüştür. 400 °C sıcaklık değerinde ağırlık kaybı belirgin bir şekilde artmış ve aynı zamanda PET agrega miktarının da etkisi ortaya çıkmıştır. Yani, 400 °C sıcaklıkta PET agrega miktarı arttıkça ağırlık kaybının da arttığı görülmektedir. K1 karışımında 1, 2 ve 3 saat için ağırlık kaybı sırasıyla 4.22, 5.45 ve 7.22 iken K6 karışımında ağırlık kaybı sırasıyla 8.78, 14.17 ve 15.67’ye çıkmıştır. Uygulanan sıcaklık süresi arttıkça ağırlık kaybının da arttığı görülmüştür.



Şekil 4.5. 1 saat sıcaklığa maruz kalan numunelerin PET ağırlık kaybı ilişkisi



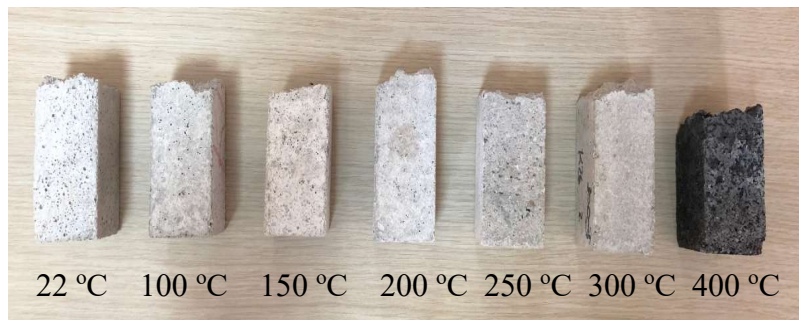
Şekil 4.6. 2 saat sıcaklığa maruz kalan numunelerin PET ağırlık kaybı ilişkisi



**Şekil 4.7.** 3 saat sıcaklığa maruz kalan numunelerin PET ağırlık kaybı ilişkisi

PET malzemesinin erime sıcaklığı 235-260 °C arasında olduğundan düşük sıcaklıklarda PET miktarının ağırlık kaybı üzerinde etkisi olmamıştır. Sıcaklık 300 °C'ye yükseldiğinde PET agrega erimeye başlamasına rağmen ortamı terk edemediğinden ağırlık kaybına çok fazla etkili olmamıştır. 400 °C sıcaklıkta ise PET agrega yanmaya başlayarak gaz ve sıvı halde ortamdan uzaklaşmaktadır. Bu durum ağırlık kaybına sebep olmaktadır.

K6 karışımına ait 3 saat sıcaklık uygulanmış numunelerin yüksek sıcaklık sonrası durumları Fotoğraf 4.1'de görülmektedir.



**Fotoğraf 4.1.** Numunelerin yüksek sıcaklık sonrası durumları

#### 4.2.2 Ultrases geçiş hızı

Çalışma kapsamında üretilen numunelerin yüksek sıcaklık uygulaması sonrası ultrases geçiş hızları llm ve izelge 4.4'te verilmiştir. Bir malzemenin ultrases geçiş hızı o malzemenin boşluk yapısına, dolayısıyla yoğunluğuna ve elastik özelliklerine bağlıdır (Akçaözoğlu vd., 2013). Bu bölümde, yüksek sıcaklığın PET agregalı harçların ultrases geçiş hızı değerlerine etkisi incelenmiştir.

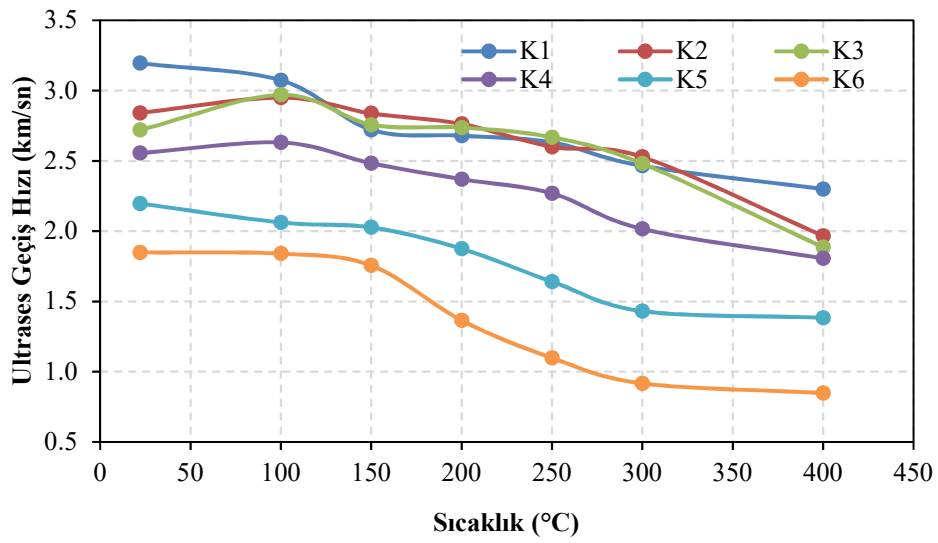
**Çizelge 4.4.** Numunelerin ultrases geçiş hızı değerleri (km/sn)

Karışım	Süre (sa)	Uygulanan Sıcaklık						
		22 C	100 C	150 C	200 C	250 C	300 C	400 C
K1	1		3.07	2.72	2.68	2.63	2.47	2.30
	2	3.20	2.96	2.66	2.45	2.40	2.35	1.89
	3		2.76	2.66	2.45	2.37	2.25	1.90
K2	1		2.95	2.84	2.76	2.60	2.53	1.97
	2	2.84	2.88	2.73	2.36	2.15	1.97	1.69
	3		2.73	2.65	2.55	2.28	2.20	1.63
K3	1		2.97	2.76	2.74	2.67	2.48	1.89
	2	2.72	2.88	2.79	2.62	2.53	2.08	1.72
	3		2.76	2.71	2.47	2.28	1.98	1.66
K4	1		2.63	2.48	2.37	2.27	2.02	1.81
	2	2.56	2.69	2.55	2.45	2.22	1.95	1.63
	3		2.28	2.06	1.92	1.74	1.61	1.55
K5	1		2.06	2.03	1.88	1.64	1.43	1.38
	2	2.20	2.06	1.98	1.68	1.51	1.14	0.98
	3		1.93	1.94	1.73	1.26	1.07	0.98
K6	1		1.84	1.76	1.37	1.10	0.92	0.85
	2	1.85	1.76	1.35	1.29	1.23	0.97	0.74
	3		1.56	1.49	1.36	1.13	0.91	0.60

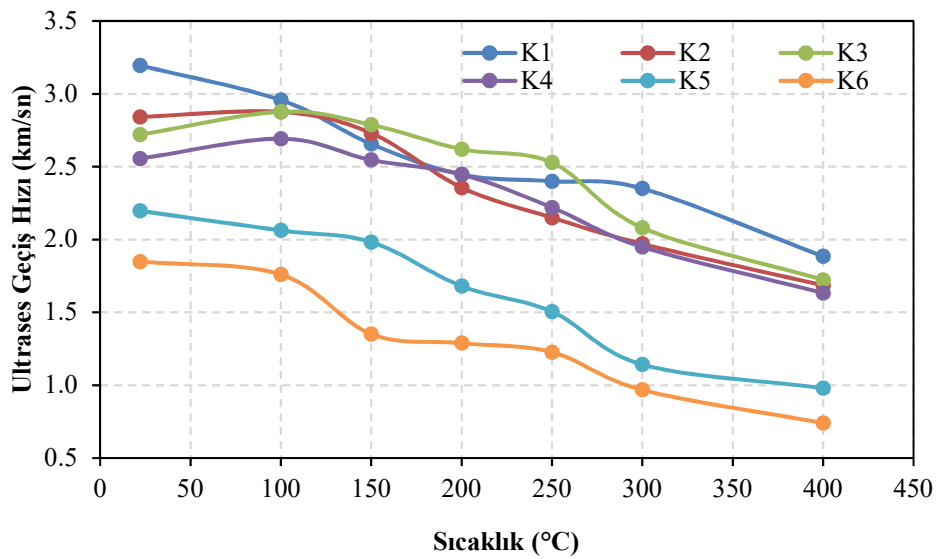
şekil 4.8-10'da sırasıyla 1, 2 ve 3 saat boyunca yüksek sıcaklık uygulanan numunelerde sıcaklık artışının ultrases geçiş hızına etkisi verilmiştir. Çizelge 4.4 ve şekil 4.8-10 incelendiğinde, tüm sıcaklık sürelerinde K1, K5 ve K6 karışımlarında sıcaklığın artmasına bağlı olarak ultrases geçiş hızı değerleri azalmıştır. Ancak, 1 saat sıcaklık uygulamasında, 100 C sıcaklıkta K2, K3 ve K4 karışımlarında ultrases geçiş hızı değeri artmıştır. 2 saat sıcaklık uygulamasında, 100 C sıcaklıkta, K2, K3 ve K4 karışımlarında ultrases geçiş hızı 22 C sıcaklıktaki ultrases geçiş hızı değerinden daha yüksek olmuştur. 3 saat sıcaklık uygulamasında, tüm ultrases geçiş hızı değerleri 22 C sıcaklıktaki ultrases geçiş hızı değerinden daha düşük olmuştur. Ultrases geçiş hızındaki artışın sebebinin 100 C sıcaklıkta, 1 ve 2 saat sürede PET agreganın yumuşayarak

özellikle PET agrega ile doğal agrega arasındaki boşlukların kapanmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

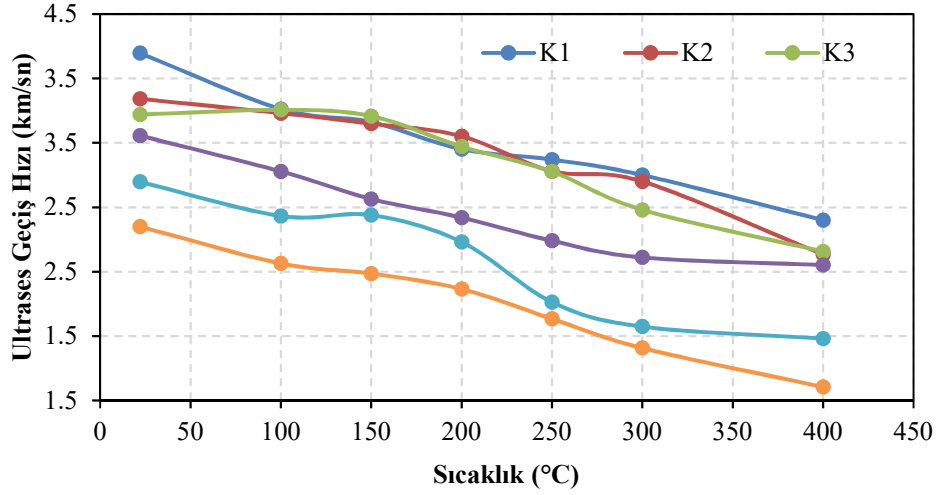
1 ve 3 saat sıcaklığa maruz kalan K1, K2 ve K3 numunelerinin ultrases geçiş hızı değerlerinin birbirlerine çok yakın olduğu görülmüştür. K4, K5 ve K6 numunelerinin ultrases geçiş hızı değerleri hızla düşmüştür. Sadece 2 saat sıcaklığa maruz kalan K4 karışımı yukarıda bahsedilen duruma uymamış K5 ve K6'ya göre daha yüksek ultrases geçiş hızı değeri vermiştir.



Şekil 4.8. 1 saat sıcaklığa maruz kalan numunelerin sıcaklık ultrases geçiş hızı ilişkisi

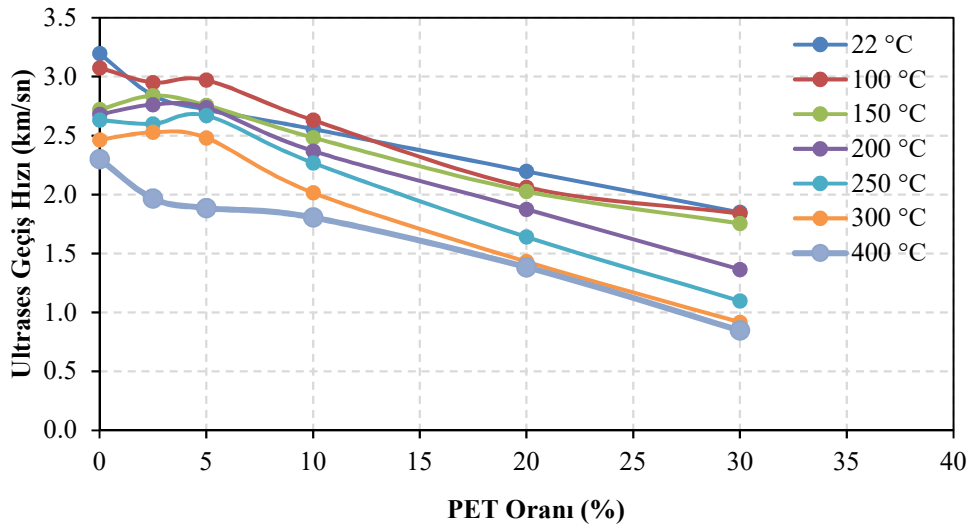


Şekil 4.9. 2 saat sıcaklığa maruz kalan numunelerin sıcaklık ultrases geçiş hızı ilişkisi

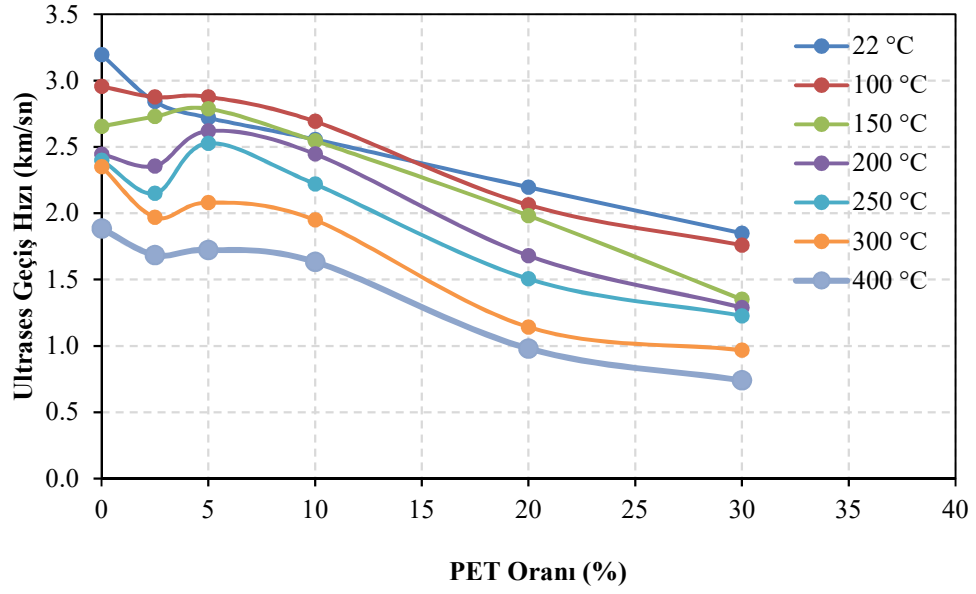


**Şekil 4.10.** 3 saat sıcaklığa maruz kalan numunelerin sıcaklık ultrases geçiş hızı ilişkisi

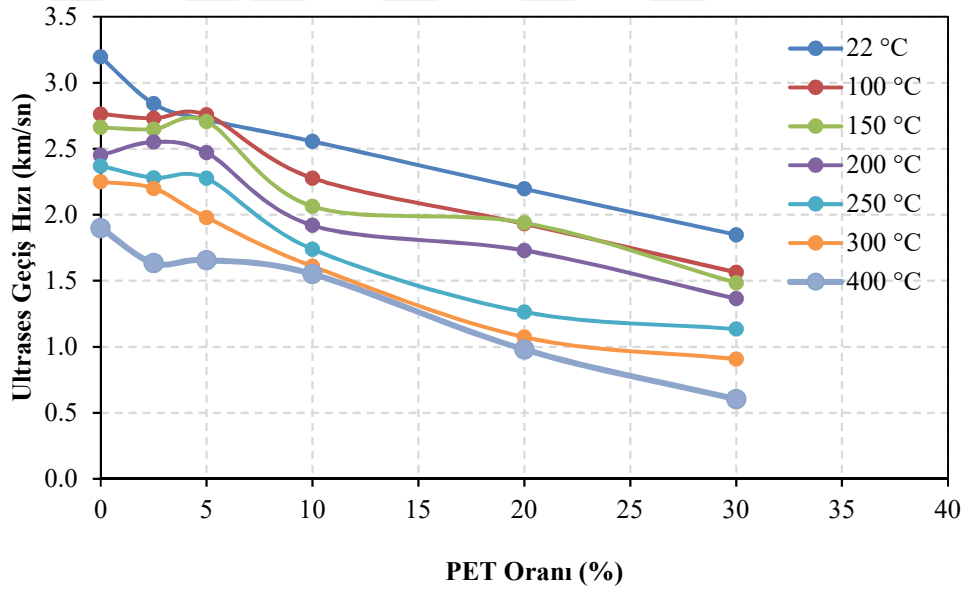
Şekil 4.11-13'te sırasıyla 1, 2 ve 3 saat boyunca yüksek sıcaklık uygulanan numunelerde PET agrega miktarının ultrases geçiş hızına etkisi verilmiştir. Şekil 4.11-13 incelendiğinde, genel olarak karışımların PET agrega miktarlarının artması ile ultrases geçiş hızı değerlerinin azaldığı görülmüştür. Yüksek sıcaklığa maruz kalmamış harç numunelerinde de aynı şekilde PET agrega miktarının artması ultrases geçiş hızının azalmasına sebep olmuştur. Beton karışımlarının sıklık ve yoğunluğunun azalması ultrases geçiş hızının azalmasına sebep olmaktadır (Akçaözoğlu vd., 2013). PET agreganın yoğunluğunun az olması sebebiyle PET agrega miktarının artması ultrases geçiş hızını olumsuz yönde etkilemiştir. Düşük PET miktarı ve düşük sıcaklıklarda PET agreganın doğal agregaya yapışması ultrases geçiş hızında artışlara sebep olmuştur.



**Şekil 4.11.** 1 saat sıcaklığa maruz kalan numunelerin PET ultrases geçiş hızı ilişkisi



Şekil 4.12. 2 saat sıcaklığa maruz kalan numunelerin PET ultrases geçiş hızı ilişkisi



Şekil 4.13. 3 saat sıcaklığa maruz kalan numunelerin PET ultrases geçiş hızı ilişkisi

#### 4.2.3 Eğilmede çekme dayanımı

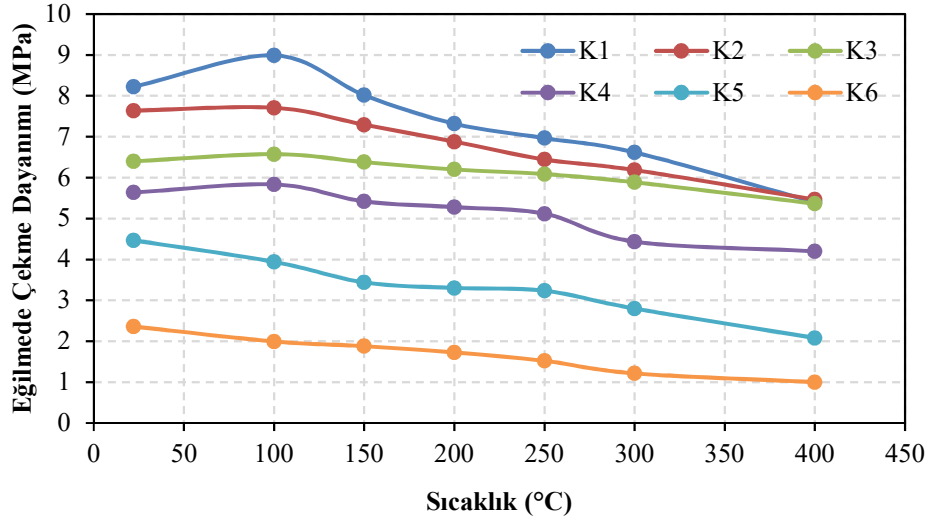
Çalışma kapsamında üretilen numunelerin yüksek sıcaklık uygulaması sonrası eğilmede çekme dayanım değerleri ölçülmüş ve Çizelge 4.5'te verilmiştir. Çizelge 4.5'te tüm sıcaklık uygulama süreleri ve uygulanan sıcaklıklar için elde edilen çekme dayanımı değerlerinin genellikle azaldığı görülmektedir.

**Çizelge 4.5.** Numunelerin eğilmede çekme dayanımı değerleri (MPa)

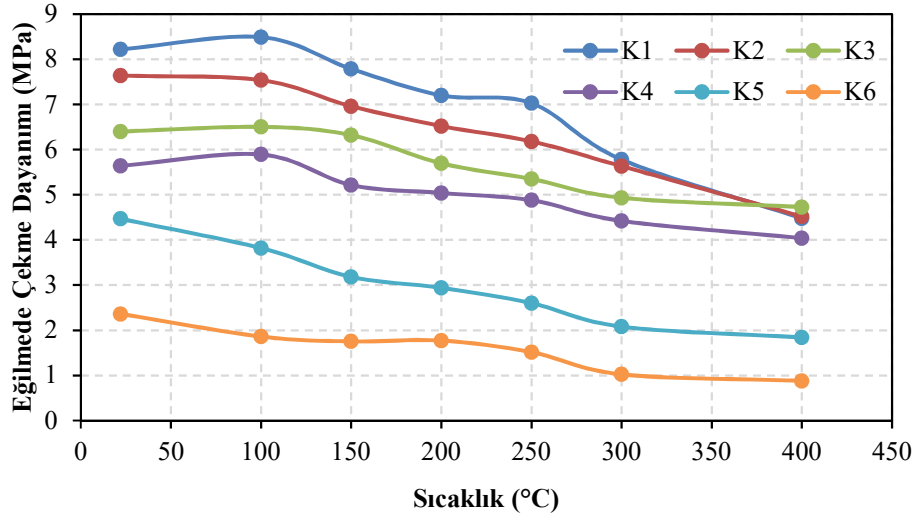
Karışım	Süre (sa)	Uygulanan Sıcaklık						
		22 °C	100 °C	150 °C	200 °C	250 °C	300 °C	400 °C
K1	1		8.99	8.02	7.32	6.97	6.62	5.40
	2	8.22	8.49	7.79	7.20	7.03	5.78	4.48
	3		8.30	7.69	7.35	7.05	5.94	4.04
K2	1		7.71	7.29	6.88	6.44	6.19	5.47
	2	7.64	7.64	6.96	6.52	6.18	5.63	4.52
	3		7.45	6.82	6.36	5.96	5.23	4.36
K3	1		6.58	6.38	6.20	6.09	5.89	5.36
	2	6.40	6.50	6.32	5.70	5.35	4.93	4.73
	3		6.54	6.20	5.93	5.44	4.76	4.39
K4	1		5.83	5.42	5.28	5.12	4.43	4.20
	2	5.64	5.89	5.22	5.04	4.88	4.42	4.04
	3		5.63	5.32	5.22	4.73	4.41	3.86
K5	1		3.94	3.44	3.30	3.24	2.80	2.08
	2	4.47	3.82	3.18	2.94	2.60	2.08	1.84
	3		3.57	3.30	2.68	2.17	1.68	1.27
K6	1		2.00	1.88	1.73	1.52	1.21	1.00
	2	2.36	1.86	1.75	1.77	1.52	1.02	0.88
	3		2.01	1.87	1.48	1.17	1.01	0.81

Şekil 4.14-16'da sırasıyla 1, 2 ve 3 saat boyunca yüksek sıcaklık uygulanan numunelerde sıcaklık artışının eğilme dayanımına etkisi verilmiştir. Şekil 4.14-16 incelendiğinde genellikle sıcaklığın artması ile birlikte eğilme dayanımının düştüğü görülmektedir. Ancak 100 °C sıcaklıkta, sıcaklık uygulanan tüm sürelerde eğilme dayanımında az da olsa bir artış görülmüştür. 150 °C sıcaklık miktarından itibaren tüm karışımlarda ve uygulanan sıcaklık sürelerinde sıcaklık değeri arttıkça eğilme dayanımının azaldığı görülmüştür. K1 karışımında 400 °C sıcaklıkta sıcaklık uygulanmamış (22 °C) numunelere göre eğilme dayanımı kaybının tüm süreler için ortalama %25 ile %62 arasında değiştiği görülmüştür.

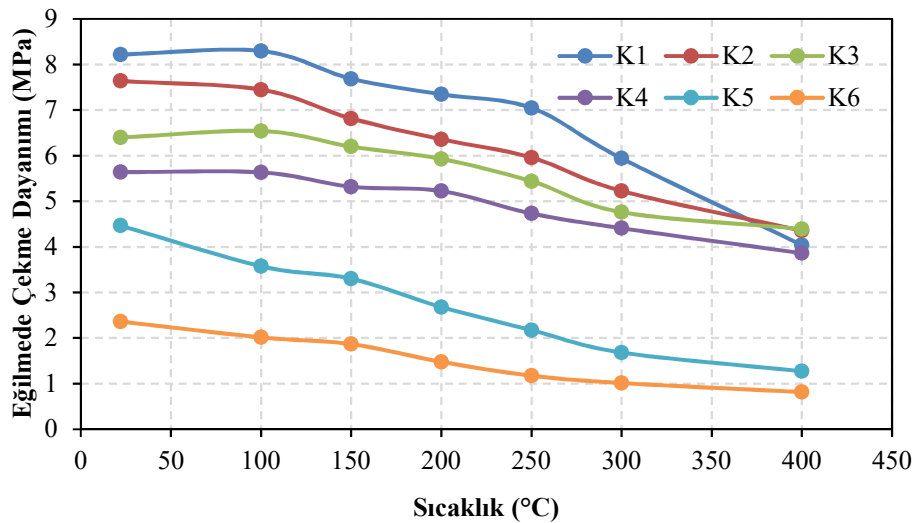
Şekil 4.17-19'da sırasıyla 1, 2 ve 3 saat boyunca yüksek sıcaklık uygulanan numunelerde PET agrega miktarının eğilme dayanımına etkisi verilmiştir. Şekil 4.17-19 incelendiğinde, karışımlarda PET agrega miktarlarının artması ile birlikte eğilme dayanımı değerlerinin azaldığı görülmüştür. Ancak, K2 karışımının 400°C sıcaklıkta eğilme dayanım değerlerinde az da olsa bir artış görülmüştür. K3 karışımında PET agrega miktarına bağlı olarak 2 ve 3 saat 400°C sıcaklığa maruz kalan numunelerin eğilme dayanım değerlerinde artış görülmüştür.



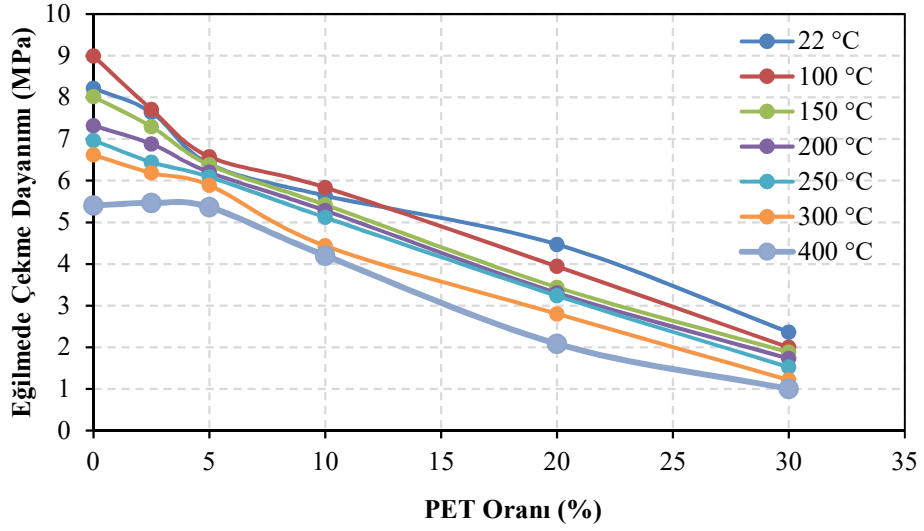
Şekil 4.14. 1 saat sıcaklığa maruz kalan numunelerin sıcaklık eğilme dayanımı ilişkisi



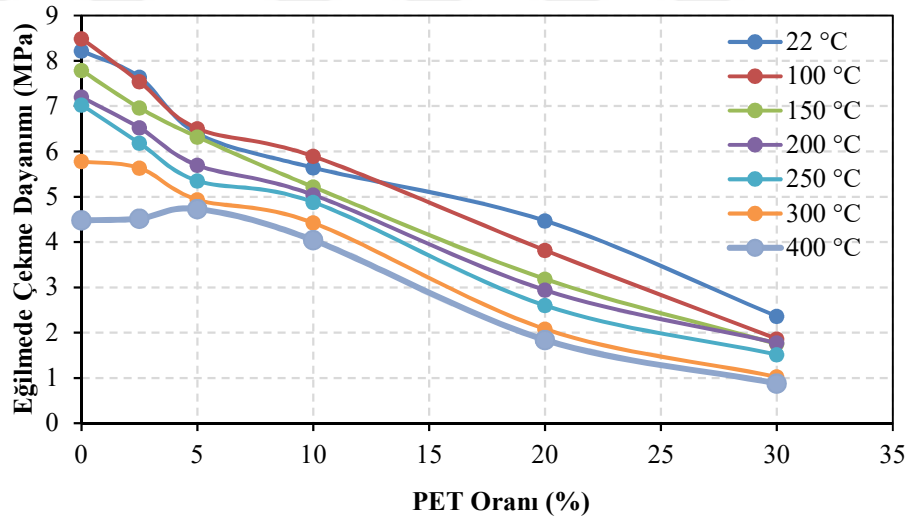
Şekil 4.15. 2 saat sıcaklığa maruz kalan numunelerin sıcaklık eğilme dayanımı ilişkisi



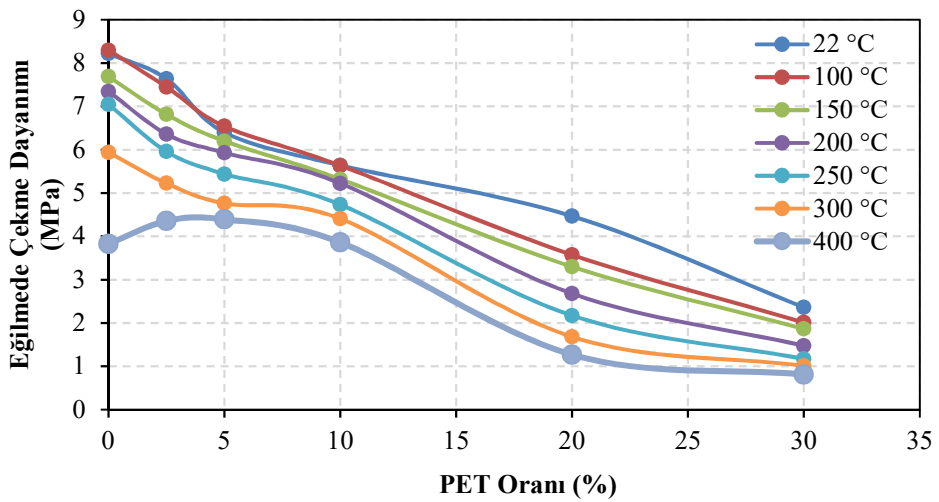
Şekil 4.16. 3 saat sıcaklığa maruz kalan numunelerin sıcaklık eğilme dayanımı ilişkisi



Şekil 4.17. 1 saat sıcaklığa maruz kalan numunelerin PET eğilme dayanımı ilişkisi

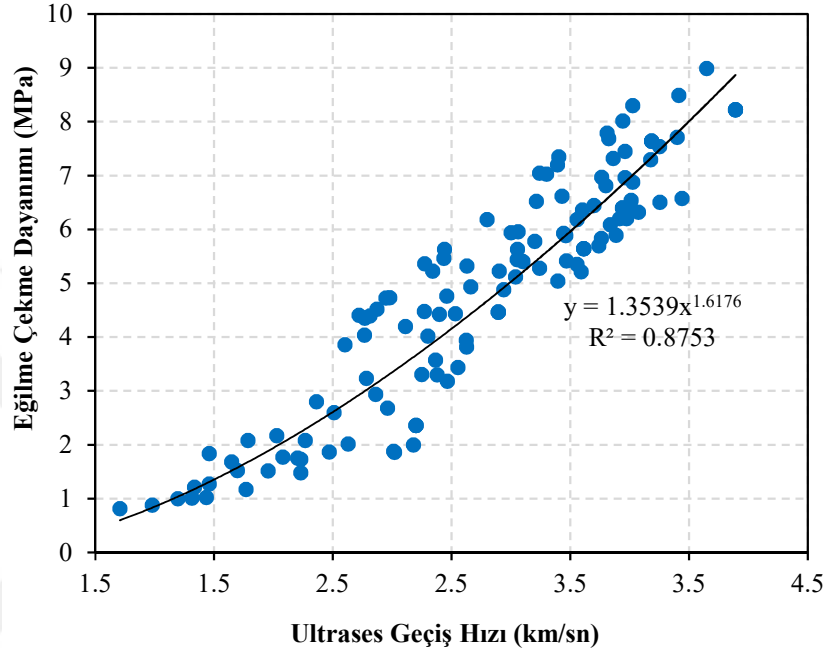


Şekil 4.18. 2 saat sıcaklığa maruz kalan numunelerin PET eğilme dayanımı ilişkisi



Şekil 4.19. 3 saat sıcaklığa maruz kalan numunelerin PET eğilme dayanımı ilişkisi

Numunelerin eğilmede çekme dayanımı ile ultrases geçiş hızı değerleri arasındaki ilişki ayrıca incelenmiş ve Şekil 4.20’de sunulmuştur. Tüm karışım, sıcaklık değerleri ve sürelerini içeren numunelerin eğilme dayanımı ile ultrases geçiş hızı arasında korelasyon katsayısı 0.87 olan kuvvetli bir ilişkinin olduğu görülmüştür. Eğilme dayanımı arttıkça ultrases geçiş hızının arttığı, azaldığında azaldığı görülmüştür.



Şekil 4.20. Numunelerin eğilme dayanımı ile ultrases geçiş hızı arasındaki ilişki

#### 4.2.4 Basınç dayanımı

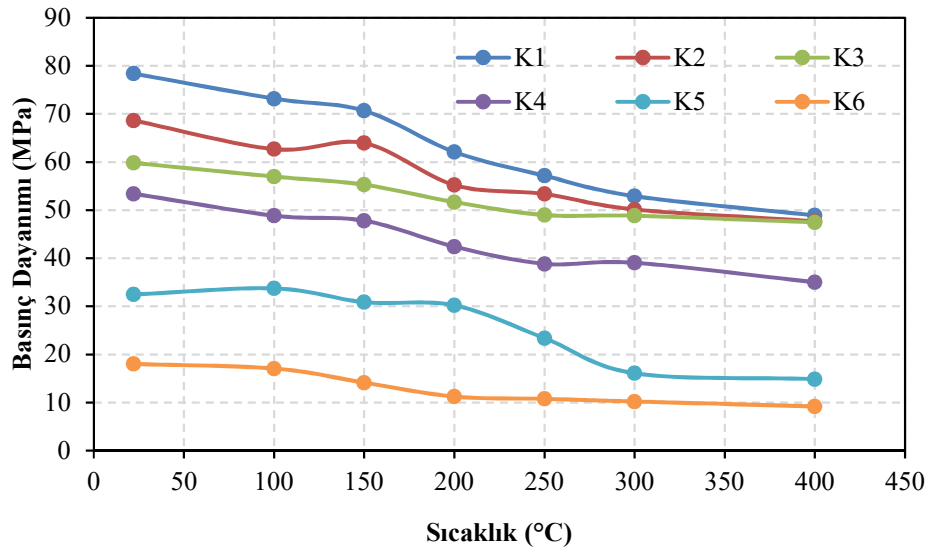
Çalışma kapsamında üretilen numunelerin yüksek sıcaklık uygulaması sonrası basınç dayanım değerleri ölçülmüş ve Çizelge 4.6’da verilmiştir. Çizelge 4.6’da tüm sıcaklık uygulama süreleri ve uygulanan sıcaklıklar için elde edilen basınç dayanımı değerlerinin genellikle azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.21-23’te sırasıyla 1, 2 ve 3 saat boyunca yüksek sıcaklık uygulanan numunelerde sıcaklık artışının basınç dayanımına etkisi verilmiştir. Şekil 4.21-23 incelendiğinde tüm karışımlarda sıcaklığın artması ile birlikte basınç dayanımının genellikle düştüğü görülmektedir. Ancak, 1 ve 2 saat sıcaklık uygulamasında, 100 °C sıcaklıkta K5 karışımında basınç dayanım değerleri 22 °C sıcaklıktaki basınç dayanım değerlerinden daha yüksek çıkmıştır. 150 °C sıcaklık değerinden itibaren tüm

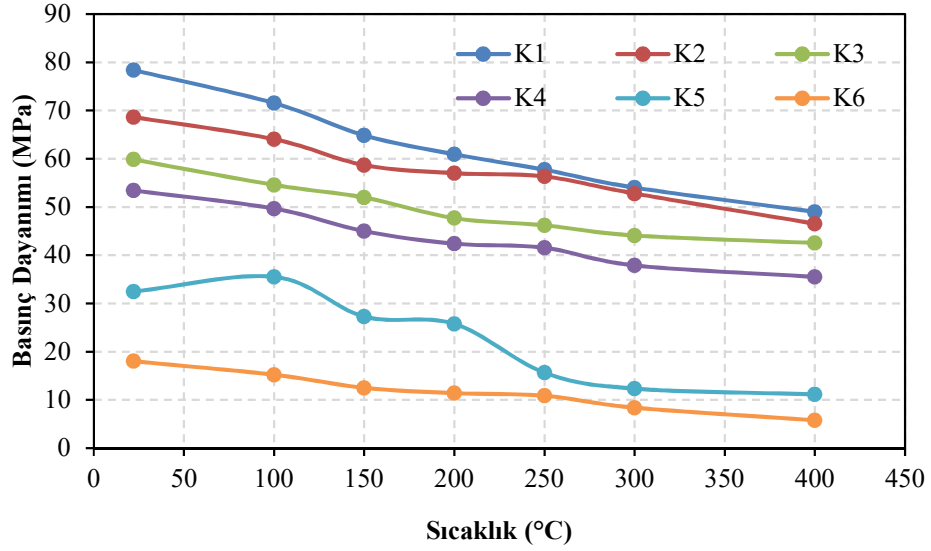
karışımlarda ve uygulanan sıcaklık sürelerinde sıcaklık değeri artıkça basınç dayanımının azaldığı görülmüştür.

**Çizelge 4.6.** Numunelerin basınç dayanımı değerleri (MPa)

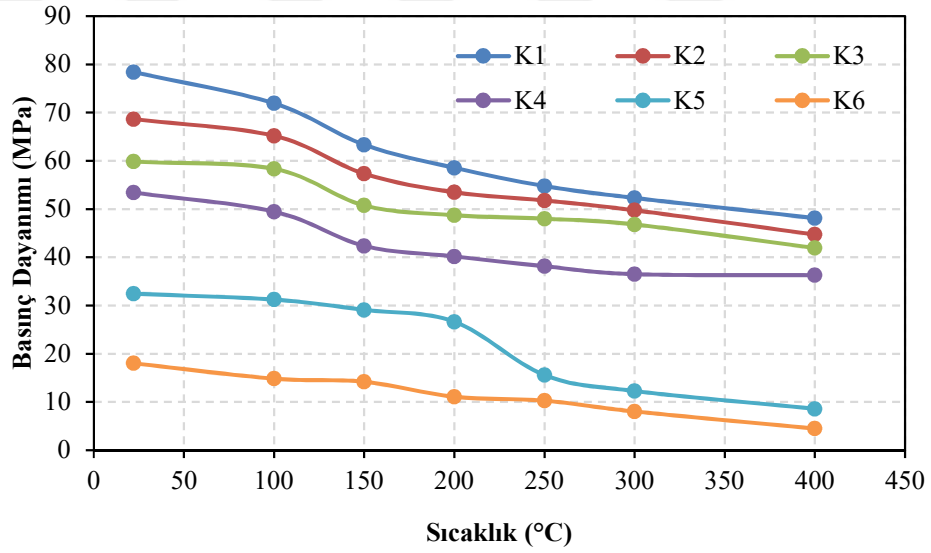
Karışım	Süre (sa)	Uygulanan Sıcaklık						
		22 °C	100 °C	150 °C	200 °C	250 °C	300 °C	400 °C
K1	1		73.19	70.67	62.11	57.16	52.92	48.90
	2	78.40	71.53	64.84	60.92	57.72	54.02	49.00
	3		71.92	63.34	58.54	54.78	52.30	48.12
K2	1		62.69	63.95	55.22	53.36	50.15	47.70
	2	68.65	64.05	58.68	57.01	56.32	52.79	46.53
	3		65.18	57.31	53.48	51.77	49.74	44.72
K3	1		56.99	55.30	51.68	49.00	48.85	47.48
	2	59.84	54.58	51.97	47.69	46.20	44.10	42.53
	3		58.33	50.74	48.72	48.00	46.80	41.94
K4	1		48.86	47.82	42.42	38.85	39.06	35.03
	2	53.42	49.66	44.98	42.40	41.55	37.89	35.50
	3		49.47	42.36	40.18	38.15	36.50	36.27
K5	1		33.74	30.88	30.22	23.38	16.09	14.88
	2	32.46	35.53	27.27	25.78	15.66	12.34	11.15
	3		31.23	29.10	26.64	15.59	12.27	8.59
K6	1		17.08	14.13	11.23	10.77	10.22	9.20
	2	18.02	15.22	12.50	11.41	10.86	8.39	5.76
	3		14.84	14.20	11.08	10.27	8.03	4.49



**Şekil 4.21.** 1 saat sıcaklığa maruz kalan numunelerin sıcaklık basınç dayanımı ilişkisi

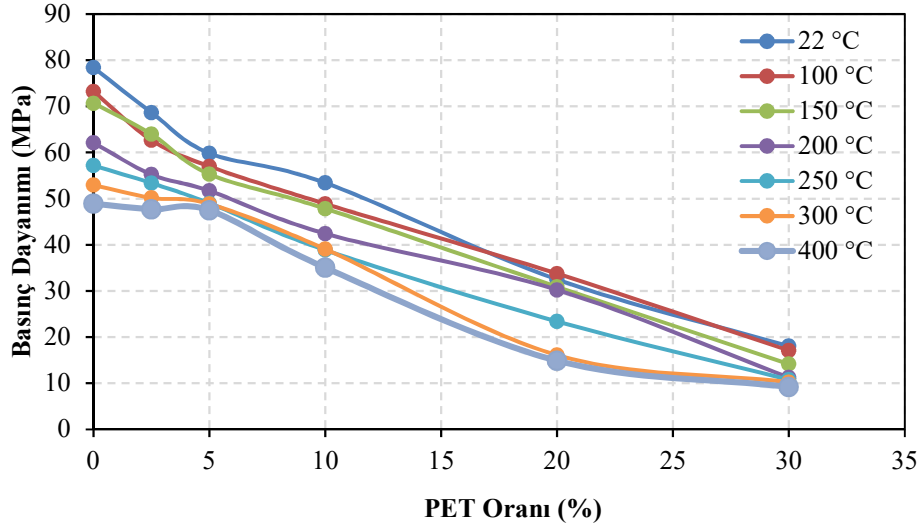


Şekil 4.22. 2 saat sıcaklığa maruz kalan numunelerin sıcaklık basınç dayanımı ilişkisi

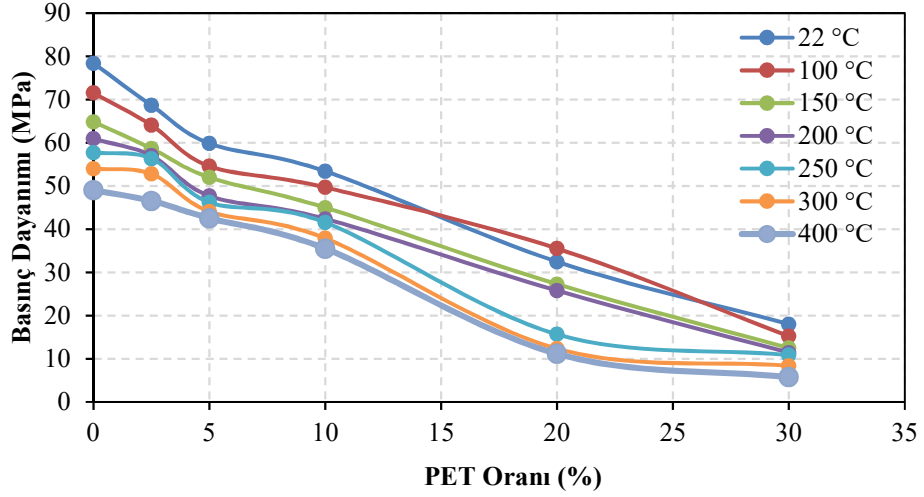


Şekil 4.23. 3 saat sıcaklığa maruz kalan numunelerin sıcaklık basınç dayanımı ilişkisi

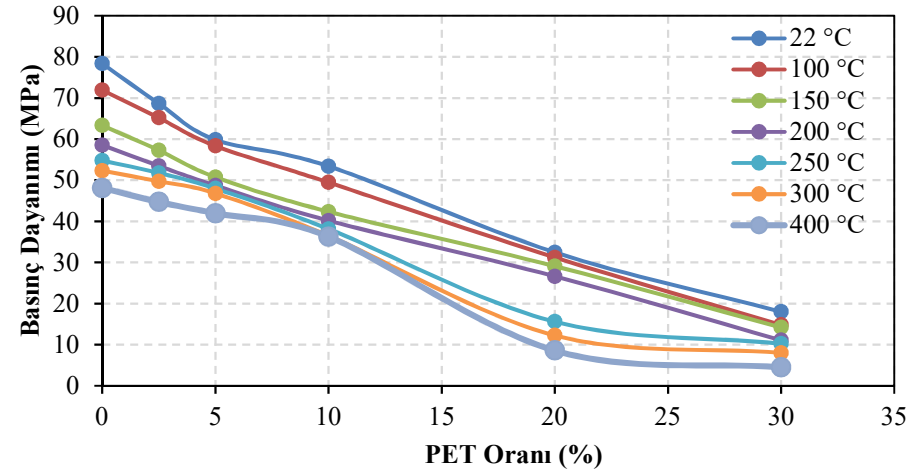
Şekil 4.24-26'da sırasıyla 1, 2 ve 3 saat boyunca yüksek sıcaklık uygulanan numunelerde PET agrega miktarının basınç dayanımına etkisi verilmiştir. Şekil 4.24-26 incelendiğinde, genel olarak karışımların PET agrega miktarlarının artması ile basınç dayanım değerlerinin azaldığı görülmüştür. Sadece K5 ve K6 karışımlarında 100 °C sıcaklıkta basınç dayanımı değerlerinde artış görülmüştür. Yüksek sıcaklığa maruz kalmamış harç numunelerinde de aynı şekilde PET agrega miktarının artması basınç dayanım değerlerinin azalmasına sebep olmuştur.



Şekil 4.24. 1 saat sıcaklığa maruz kalan numunelerin PET basınç dayanımı ilişkisi

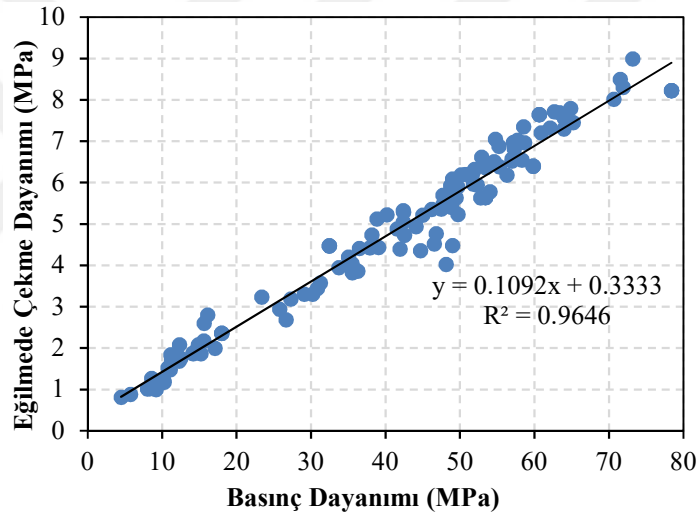


Şekil 4.25. 2 saat sıcaklığa maruz kalan numunelerin PET basınç dayanımı ilişkisi

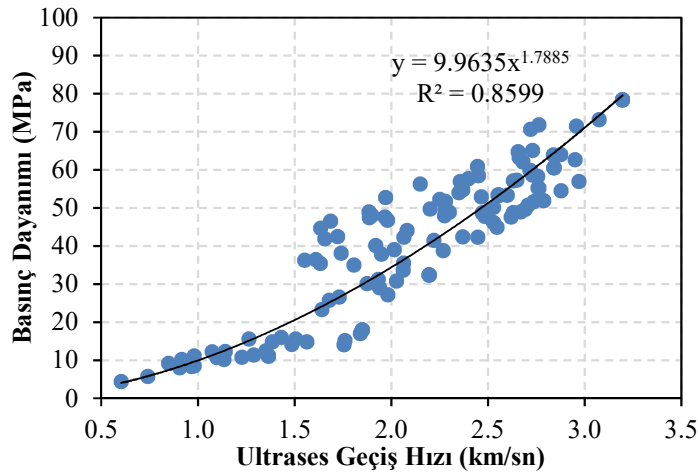


Şekil 4.26. 3 saat sıcaklığa maruz kalan numunelerin PET basınç dayanımı ilişkisi

Numunelerin basınç dayanımı ile eğilmede çekme dayanımı değerleri arasındaki ilişki Şekil 4.27’de sunulmuştur. Şekil 4.27 incelendiğinde, basınç dayanım ile eğilmede çekme dayanımı değerleri arasında korelasyon katsayısı 0.96 bulunmuştur. Bu değerde her iki dayanım arasında kuvvetli bir ilişkinin olduğunu göstermektedir. Numunelerin sahip olduğu PET agrega oranı, uygulanan yüksek sıcaklık miktarı ve süresi hem basınç dayanımı değerleri hem de eğilme dayanımı değerleri üzerinde paralel bir etki göstermiştir. Numunelerin basınç dayanımı değerleri ile ultrases geçiş hızı değerleri arasındaki ilişki Şekil 4.28’de sunulmuştur. Şekil 4.28 incelendiğinde, basınç dayanımı değerleri ile ultrases geçiş hızı değerleri arasında kurulan ilişkinin korelasyon katsayısı 0.86 olarak bulunmuştur. Bu ilişki ve korelasyon katsayısı da ultrases geçiş hızı ile basınç dayanımı arasında yüksek bir ilişkinin olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.27. Numunelerin eğilme dayanımı ile basınç dayanımı arasındaki ilişkisi



Şekil 4.28. Numunelerin ultrases geçiş hızı ile basınç dayanımı arasındaki ilişkisi

## BÖLÜM V

### SONUÇLAR

Yapılan bu tez çalışması kapsamında aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Bu çalışma sonucunda, PET agrega miktarının artması ile birlikte harcın kıvamının azaldığı görülmüştür. %10 PET miktarına kadar yayılma çapları pek değişmemiş ancak az da olsa bir azalma görülmüştür. %20 PET oranına sahip olan karışım da PET'in kıvama olumsuz etkisi daha net bir şekilde görülmüştür. Bundan dolayı da akışkanlaştırıcı katkı kullanılmıştır.

Bu çalışmada üretilen PET agregalı harç karışımlarının birim hacim ağırlıklarının 1.64-2.27 kg/ dm<sup>3</sup> arasında değiştiği görülmüştür. Karışımların içerisindeki PET agrega miktarlarının artması ile birlikte numunelerin birim hacim ağırlıklarında azalma olduğu tespit edilmiştir. PET miktarı ile birim hacim ağırlığı arasında doğrusal ve kuvvetli bir ilişkinin olduğu görülmüştür.

Uygulanan tüm sıcaklık süreleri için sıcaklığın artması ile birlikte numunelerin ağırlık kayıplarının arttığı tespit edilmiştir. PET malzemesinin erime sıcaklığından dolayı (235-265 °C) düşük sıcaklıklarda PET miktarının ağırlık kaybı üzerinde çok fazla etkisi olmamıştır. 400 °C sıcaklıkta ise PET agrega yanmaya başlayarak gaz ve sıvı halde ortamdan uzaklaştığı için ağırlık kaybına sebep olmuştur.

Karışımların PET agrega miktarlarının artması ile ultrases geçiş hızı değerlerinin azaldığı görülmüştür. Ancak 100 °C sıcaklıkta, 1 ve 2 saat sürede PET agreganın yumuşayarak özellikle PET agrega ile doğal agrega arasındaki boşlukların kapanmasından dolayı ultrases geçiş hızında artışa sebep olmuştur.

Sıcaklığın ve PET agrega miktarlarının artması ile birlikte eğilme dayanımı değerlerinin azaldığı görülmüştür. Ancak 100 °C sıcaklıkta, sıcaklık uygulanan tüm sürelerde eğilme dayanımında az da olsa bir artış görülmüştür.

Tüm karışımlarda sıcaklığın ve PET agrega miktarlarının artması ile birlikte basınç dayanımının genellikle azaldığı görülmüştür. Sadece K5 karışımında 100 °C sıcaklıkta basınç dayanım değerinde artış görülmüştür.

Tüm karışımlarda, sıcaklık değerleri ve sürelerini içeren numunelerin eğilme dayanımı ile ultrases geçiş hızı arasında korelasyon katsayısı 0.87 olan kuvvetli bir ilişkinin olduğu görülmüştür. Eğilme dayanımı arttıkça ultrases geçiş hızının da arttığı tespit edilmiştir.

Tüm karışımlarda, sıcaklık değerleri ve sürelerini içeren numunelerin basınç dayanım değerleri ile ultrases geçiş hızı ve eğilmede çekme dayanımı değerleri arasında kuvvetli bir ilişkinin olduğu görülmüştür.

## KAYNAKLAR

Akçaözoğlu, K., “Microstructural examination of concrete exposed to elevated temperature by using plane polarized transmitted light method”, *Construction and Building Materials*, 48, 772-779, 2013.

Akçaözoğlu, S. Akçaözoğlu, K. ve Atiş, C.D., “Thermal conductivity, compressive strength and ultrasonic wave velocity of cementitious composite containing waste PET lightweight aggregate (WPLA)”, *Composites: Part B*, 45, 721-726, 2013.

Akçaözoğlu, S. Atiş, C.D. ve Akçaözoğlu, K., “An investigation on the use of shredded waste PET bottles as aggregate in lightweight concrete”, *Waste Management*, 30, 285-290, 2010.

Akçaözoğlu, S. Atiş, C.D., “Effect of Granulated Blast Furnace Slag and fly ash addition on the strength properties of lightweight mortars containing waste PET aggregates”, *Construction and Building Materials*, 25, 4052-4058, 2011.

Akçaözoğlu, S., Atık pet şişe kırıklarının hafif beton agregası olarak kullanılabilirliği, Doktora Tezi, *Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana, s.4-9, 2008.

Anabal, F.Y., PET(polietilen tereftalat) atıklarının endüstride değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, s.19, 2007.

Atiş, C.D. ve Akçaözoğlu, S., “Atık PET agregalı ve uçucu küllü hafif harçların basınç dayanımı”, *Ç.Ü.Müh.Mim.Fak.Dergisi*, 23(1) 1019-1011, 2008.

Baradan, B. ve Aydın, S., “Betonun Dürabilitesi (Dayanıklılık, Kalıcılık)”, *Hazır Beton*, 54-68, 2013.

Baradan, B., Yazıcı, H. ve Ün, H., “Betonarme Yapılarda Kalıcılık (Durabilite)”, *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları*, Yayın no:298, İzmir, 2002.

Dakman, M.H., Köpük betonda yüksek sıcaklık etkisi, Yüksek Lisans Tezi, **E.O.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü**, Eskişehir, s.14, 2017.

Demir, A., Kiremit kırığı agregalı betonlarda yüksek sıcaklık etkisinin incelenmesi, Doktora Tezi, **E.O.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü**, Eskişehir, s.15-16, 2008.

Erdoğan, T:Y., Beton., ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve iletişim A.Ş., Semih Ofset Matbaası, Ankara, 2003.

Evren, M., Atık PET'den silikon modifiye alkid fenolik reçine esaslı fırın boya üretimi, Doktora Tezi, **İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, s.5-7, 2018.

Gavela, S., Karakosta, C., Nydriotis, C., Kaselouri-Rigopoulou, V., Koliass, S., Tarantili, P.A., et al., "A study of concretes containing thermoplastic wastes as aggregates", **Conference on the Use of Recycled Materials in Building and Structures**, Barcelona, p.911-918, Spain, 2004.

Gökçer, B., Mermer tozu ve cam elyaf katkılı çimento harçlarının aşınma, yüksek sıcaklık ve donma-çözülme davranışlarının incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, **F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü**, Elâzığ, s.20, 2013.

Gönen, T. Onat, O. Cemalgil, S. Yilmazer, B. ve Altuncu, Y.T., "Beton Teknolojisi İçin Yeni Atık Malzemeler Üzerine Bir İnceleme", **Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi**, 8(1) 36-43, 2012.

Gülce, C., Farklı çimentolarla üretilen harçların yüksek sıcaklık ve değişik soğutma koşulları altındaki özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, **E.O.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü**, Eskişehir, s.6-7, 2009.

Karaduman, N., Farklı tip çimentoların yüksek sıcaklıklara direnci, Yüksek Lisans Tezi, **E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü**, İzmir, s.13-14, 2008.

Karagöz, H., Kendiliğinden yerleşen harçlarda kullanılan mineral katkıların yüksek sıcaklık performansına etkisi, Yüksek lisans Tezi, *A.K.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, Afyon, s.15-17, 2013.

Kaya, Y., Polimerle iyileştirilmiş harçların farklı kür koşulları ve yüksek sıcaklık etkisi altında mekanik altında mekanik davranışlarının incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, Gümüşhane, s.35, 2014.

Kaygusuz, M.A., Yüksek sıcaklık hasarına uğramış betonarme kirişlerin FRP ile onarım ve güçlendirilmesi, Doktora Tezi, *A.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, Erzurum, s.46, 2018.

Khoury, G.A., “Compressive strength of concrete at high temperatures: a reassessment”, *Magazine of Concrete Research* 44(161), 291-309, 1992.

Kurt, A., Betonda yüksek sıcaklık etkisinin mineral katkı çeşitlerine göre değişimi, Yüksek Lisans Tezi, *F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ, s.8-9, 2012.

Küçükaltun, E. ve Evliya, H., “Polietilen Tereftalat’ın Hidrolize Dayanımının Arttırılması”, *Ç.Ü. Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 27-4, 2012.

Mahsanlar, N., Yüksek sıcaklık etkisinde beton davranışı, Yüksek Lisans Tezi, *Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, s.3, 2006.

Memiş, S. ve Örüng, İ., “Öğütülmüş Atık Plastik (PET) Katkılı Sıvaların Tarımsal Yapılarda Kullanılabilirliği”, *G.O.Ü. Ziraat Fakültesi Dergisi*,29(2) 19-27, 2012.

MohammadiAhmadabad, Y., Öğütülmüş atık petlerle üretilen betonun özelliklerinin belirlenmesi üzerine bir araştırma, Yüksek Lisans Tezi, *A.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, Erzurum, s.2-3, 2014.

Özcan, A., Endüstriyel atıklar ve polipropilen lif içeren saha betonlarının özelliklerinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Z.K.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, Zonguldak, s.2, 2006.

Özel, C. Filiz, M. Sevinç, A.ve Kıran, C., “Betonda fiber katkı olarak polietilen tereftalatın kullanılabilirliğinin araştırılması”, *Constructional Technology*, 2, 17-28, 2011.

Sağgöz, A.E., Kendiliğinden yerleşen betonların yüksek sıcaklık etkisinde bazı fiziksel ve mekanik özellikleri ile renk değişiminin incelenmesi, Doktora Tezi, *K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, Trabzon, s.11, 2013.

Sakin, M., Effect of recycled granular polyethylene terephthalate (pet) on fresh and hardened properties of self consolidating concrete, Yüksek Lisans Tezi, *H.K.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, Gaziantep, s.2-45, 2015.

Sevencan, F. ve Vaizoğlu, S.A., “PET ve Geri Dönüşümü”, *TSK Koruyucu Hekimlik Bülteni*, 6(4), 307-312, 2007.

Siddique, R., Waste Materials and By-Products in Concrete, *Springer*, Berlin, Heidelberg Germany, 2008.

TS 706 EN 12620+A1, Beton agregaları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 2009.

TS EN 1008, Beton-Karma suyu-Numune alma, deneyler ve beton endüstrisindeki işlemlerden geri kazanılan su dahil, suyun, beton karma suyu olarak uygunluğunun tayini kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 2003.

TS EN 1015-3, Kagir harcı – Deney metotları – Bölüm 3: Taze harç kıvamının tayini (yayıma tablası ile), *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 2000.

TS EN 1015-6, Kagir harcı – Deney metotları – Bölüm 6: Taze harcın boşluklu birim hacim kütlelerinin tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 2000.

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

TS EN 12504-4, Beton deneyleri – Bölüm 4: Ultrasonik atımlı dalga hızının tayini, ***Türk Standartları Enstitüsü***, Ankara, 2012.

TS EN 196-1, Çimento deney metotları – Bölüm 1: Dayanım tayini, ***Türk Standartları Enstitüsü***, Ankara, 2016.

TS EN 197-1, Genel çimentolar-Bileşim,özellikler ve uygunluk kriterleri, ***Türk Standartları Enstitüsü***, Ankara, 2012.

TS EN 934-2+A1, Kimyasal katkıları- Beton,harç ve şerbet için – Bölüm 2: Beton kimyasal katkıları – Tarifler, gerekler, uygunluk, işaretleme ve etiketleme, ***Türk Standartları Enstitüsü***, Ankara, 2013.

Uçarkoşar, B., Pirinç kabuğu katkılı yüksek dayanımlı betonun yüksek sıcaklık performansı, Yüksek Lisans Tezi, ***Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü***, İstanbul, s.4, 2013.

Ulu, C., Alkalilerle aktive edilmiş yüksek fırın cürufllu ve metakaolinli harçlarda atık pet agrega kullanımının araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, ***Ö.H.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü***, Niğde, s.20, 2016.

## ÖZ GEÇMİŞ

Gülhan BELLER 20.05.1993 tarihinde Mersin’de doğdu. İlk, orta ve lise öğretimini Mersin’de tamamladı. 2012 yılında girdiği Niğde Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Yapı Denetimi Bölümün’den Haziran 2014’de mezun oldu. Eylül 2014 yılında girdiği Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’nden Haziran 2017’de mezun oldu. 2017 yılında Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans programına başladı. 2017 yılında Enerjik Yapı Denetim de kontrol mühendisi olarak çalışmaya başladı.

