

**T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



**UÇUCU KÜL VE KABLO ATIKLARININ ÇİMENTO HARCİ
ÜRETİMİNDE KULLANILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

EZGİ KARAKULAK

BALIKESİR, HAZİRAN - 2019

T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI



UÇUCU KÜL VE KABLO ATIKLARININ ÇİMENTO HARCİ
ÜRETİMİNDE KULLANILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

EZGİ KARAKULAK

Jüri Üyeleri : Doç. Dr. Arın YILMAZ (Tez Danışmanı)

Prof. Dr. F. Nurhayat DEĞİRMENCİ

Doç. Dr. Mücteba UYSAL

BALIKESİR, HAZİRAN - 2019

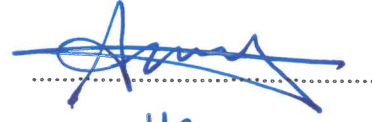
KABUL VE ONAY SAYFASI

Ezgi KARAKULAK tarafından hazırlanan “UÇUCU KÜL VE KABLO ATIKLARININ ÇİMENTO HARCİ ÜRTİMİNDE KULLANILMASI” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 17.06.2019 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği / ~~oy çokluğu~~ ile Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Danışman
Doç. Dr. Arın YILMAZ



Üye
Prof. Dr. Fatma Nurhayat DEĞİRMENCİ



Üye
Doç. Dr. Mücteba UYSAL



Jüri üyeleri tarafından kabul edilmiş olan bu tez Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca onanmıştır.

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Prof. Dr. Necati ÖZDEMİR

.....

ÖZET

**UÇUCU KÜL VE KABLO ATIKLARININ ÇİMENTO HARCİ
ÜRETİMİNDE KULLANILMASI
YÜKSEK LİSANS TEZİ
EZGİ KARAKULAK
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI: DOÇ. DR. ARIN YILMAZ)
BALIKESİR, HAZİRAN - 2019**

Bu çalışmada, kablo atıklarının ve uçucu külün çimento harcı üretiminde kullanılabilirliği araştırılmıştır. Deneylerde, kablo atıkları harç karışımları içerisinde %10, %20 ve %30 oranlarında kuvars kumu ile yer değiştirilerek, uçucu kül de çimento ile %10, %20 ve %30 oranlarında yer değiştirilerek kullanılmıştır. İki tip kuvars kumu seçilmiştir. Bunlar, 0-0,8 mm ve 0,8-2 mm boyutlarındadır ve harç karışımında ağırlıkça aynı oranda bulunmaktadır. Harç numuneleri, 1:2:6 oranlarında su, çimento ve kuvars kumunun laboratuvar ortamındaki mikserle karıştırılmasıyla elde edilmiştir. Harç numuneleri, 40x40x160 mm boyutlarında prizmatik ve 50 mm boyutlarında küp şeklinde üretilmiştir. Prizmatik numuneler üzerinde 2, 7, 28, 56 ve 90 günlük basınç dayanımı ve eğilmede çekme dayanımı deneyleri uygulanmıştır. Küp numunelere ise 200 °C ve 400 °C’de yüksek sıcaklık deneyi ve donma-çözülme deneyi uygulanmıştır.

Kontrol numunelerinin dayanım değerlerinin, atık kablo ve uçucu kül içeren numunelere göre yüksek çıktığını söylemek mümkündür. Ancak bazı karışımların, kontrol numunelerini yakaladığı görülmektedir. Genel olarak, kablo atığının harç karışımı içerisinde %10 oranında tek başına ve %10-20 oranlarında uçucu kül ile kullanılması, uçucu külün ise %10 ve %20 oranlarında tek başına kullanılması daha iyi sonuçlar vermiştir. Doğal çevrenin korunması açısından bu tür atık malzemelerin harç üretiminde kullanılmasının uygun olacağı söylenebilir.

ANAHTAR KELİMELELER: Kablo atığı, uçucu kül, çimento, basınç dayanımı

ABSTRACT

**USING OF FLY ASH AND CABLE WASTES IN CEMENT MORTAR
PRODUCTION
MSC THESIS
EZGİ KARAKULAK
BALIKESİR UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE
CIVIL ENGINEERING
(SUPERVISOR: ASSOC. PROF. DR. ARIN YILMAZ)
BALIKESİR, JUNE 2019**

In this study, the possibility of using recycled cable waste and fly ash in cement mortar production was investigated. In the experiments, quartz sand was replaced by cable waste in percentages of 10%, 20% and 30%; cement was replaced by fly ash in percentages of 10%, 20% and 30%. Two types of quartz sand were selected. They are 0-0.8 mm and 0.8-2 mm in size and have the same ratio of weight in the mortar mixture. Mortar samples were produced by mixing water, cement and quartz sand in a ratio of 1: 2: 6 using a laboratory mixer. The mortar specimens were prepared in 40x40x160 mm prism molds and 50 mm cube molds. 2, 7, 28, 56 and 90 days compressive strength and tensile strength tests were applied on prism specimens whereas cube specimens were subjected to high temperature tests at 200 °C and 400 °C and freeze-thaw test.

It is possible to conclude that the strength values of the control samples are higher than the samples with waste cable and fly ash. Some mixtures, however, are observed to reach the performance of control samples. In general, the use of 10% cable waste in the mortar mixture alone and 10-20% cable waste together with fly ash, and the use of fly ash in ratios of 10% and 20% alone give better results. Therefore, it can be concluded that it is appropriate to use such waste materials in mortar production in order to protect the natural resources.

KEYWORDS: Cable waste, fly ash, cement, compressive strength

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ	v
TABLO LİSTESİ	vii
SEMBOL LİSTESİ	viii
ÖNSÖZ.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. ATIK KAVRAMI.....	3
2.1 Plastik Atıklar	4
2.2 Öğütülmüş Kablo Atığı.....	5
2.3 Plastik Atık Miktarları	5
2.4 Plastik Atıkların Kullanım Alanları	7
2.5 Öğütülmüş Kablo Atıkları ve Plastik Atıkların Beton Üretiminde Kullanılması.....	8
3. ÇİMENTO	13
3.1 Çimento Çeşitleri	15
3.2 Çimento Dayanım Sınıfları	15
3.3 Çimentonun Genel Özellikleri	17
3.3.1 Özgül Ağırlık	17
3.3.2 Tane Boyutu.....	18
3.3.3 Hidratasyon.....	19
3.3.4 Priz Süresi	21
4. MİNERAL KATKILAR.....	23
4.1 Yüksek Fırın Cürufu	23
4.2 Silis Dumanı.....	24
4.3 Doğal Puzolan.....	25
4.4 Doğal Kalsine Edilmiş Puzolan	25
4.5 Pişmiş Şist.....	26
4.6 Kalker.....	26
4.7 Uçucu Kül	27
4.7.1 Uçucu Küllerin Fiziksel Özellikleri	27
4.7.2 Uçucu Küllerin Kimyasal Özellikleri	27
4.7.3 Uçucu Küllerin Sınıflandırılması.....	28
4.7.4 Uçucu Küllerin Kullanım Alanları ve Miktarları	30
4.7.5 Uçucu Külün Beton Özelliklerine Etkisi	30
4.7.5.1 İşlenebilirlik ve Terleme	31
4.7.5.2 Priz Süresi	32
4.7.5.3 Hidratasyon	32
4.7.5.4 Su Geçirimsizliği.....	33
4.7.5.5 Rötire.....	33
4.7.5.6 Basınç ve Eğilmede Çekme Dayanımı.....	34
5. MATERYAL VE METOD.....	36
5.1 Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri.....	36
5.1.1 Çimento.....	36

5.1.2	Uçucu Kül.....	37
5.1.3	İnce Agraga (Kuars).....	37
5.1.4	Öğütülmüş Kablo Atıkları	39
5.1.5	Karışım Suyu	40
5.2	Harç Karışım Oranları.....	40
5.3	Numunelerin Üretimi ve Kürü.....	41
5.4	Numuneler Üzerinde Yapılan Deneyler.....	42
5.4.1	Eğilmede Çekme Dayanımı Deneyi	42
5.4.2	Basınç Dayanımı Deneyi	43
5.4.3	Yüksek Sıcaklık Deneyi.....	43
5.4.4	Su Emme Miktarının Tayini	44
5.4.5	Donma-Çözülme Deneyi	45
6.	DENEY SONUÇLARI VE YORUMLARI.....	47
6.1	Eğilmede Çekme Dayanımı	47
6.2	Basınç Dayanımı	57
6.3	Yüksek Sıcaklık Etkisi.....	65
6.4	Su Emme Miktarı.....	68
6.5	Donma-Çözülme Etkisi.....	70
7.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	74
8.	KAYNAKLAR.....	78

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: B-1 kapsamında piyasaya sürülen ambalaj cinslerine göre oranları [12].....	6
Şekil 2.2: Türkiye'de 2009-2017 yılları arasında üretilen plastik ve geri dönüştürülen plastik miktarları [12].	7
Şekil 2.3: Atık lastiklerin basınç dayanımı grafiği [19].	9
Şekil 2.4: Atık lastiklerin eğilmede çekme dayanımı grafiği [19].....	10
Şekil 3.1: Çimento üretim aşamaları [29].	14
Şekil 3.2: Çimentonun su ile reaksiyona girip sertleşmesi olayı [29].	16
Şekil 3.3: Le chatelier balonu.	17
Şekil 3.4: Piknometre.	18
Şekil 3.5: Hidratasyon süreçleri [33].	20
Şekil 4.1: Çimento reaksiyonu ve puzolanik reaksiyon.....	24
Şekil 4.2: Uçucu küllü betonlar ve kontrol betonları için basınç dayanımı- zaman grafiği [66].	34
Şekil 5.1: 0,8-2 mm kuvars kumu (a) ve 0-0,8 mm kuvars kumu (b).	38
Şekil 5.2: Öğütülmüş kablo atığı.	39
Şekil 5.3: Eğilmede çekme dayanımı deney düzeneği.	42
Şekil 5.4: Basınç dayanımı deney düzeneği.	43
Şekil 5.5: Yüksek sıcaklık deneyi kül fırını.....	44
Şekil 5.6: Donma-çözülme deneyi test cihazı.....	46
Şekil 6.1: Eğilmede çekme dayanımı sonrası 3KU3 numuneleri.....	49
Şekil 6.2: Uçucu kül bulunmayan numuneler ile atık kablo oranındaki artışa göre eğilmede çekme dayanımlarının karşılaştırılması a) %10 kablo atığı, b) %20 kablo atığı, c) %30 kablo atığı.	49
Şekil 6.3: %10 uçucu kül bulunan numuneler ile atık kablo oranındaki artışa göre eğilmede çekme dayanımlarının karşılaştırılması a) %10 kablo atığı, b) %20 kablo atığı, c) %30 kablo atığı.	51
Şekil 6.4: %20 uçucu kül bulunan numuneler ile atık kablo oranındaki artışa göre eğilmede çekme dayanımlarının karşılaştırılması a) %10 kablo atığı, b) %20 kablo atığı, c) %30 kablo atığı.	52
Şekil 6.5: %30 uçucu kül bulunan numuneler ile atık kablo oranındaki artışa göre eğilmede çekme dayanımlarının karşılaştırılması a) %10 kablo atığı, b) %20 kablo atığı, c) %30 kablo atığı.	53
Şekil 6.6: Kablo atığının, uçucu kül katkılı çimentoların eğilmede çekme dayanımına etkisi a) %0 atık kablo, b) %10 atık kablo, c) %20 atık kablo, d) %30 atık kablo.....	54
Şekil 6.7: Basınç dayanımı sonrası numune görselleri.....	58
Şekil 6.8: Uçucu kül içermeyen numunelerin, atık kablo miktarına göre basınç dayanımlarının karşılaştırılması a) 1KU, b) 2KU, c) 3KU. ...	59
Şekil 6.9: %10 uçucu kül içeren numunelerin, atık kablo miktarına göre basınç dayanımlarının karşılaştırılması a) 1KU1, b) 2KU1, c) 3KU1.	61
Şekil 6.10: %20 uçucu kül içeren numunelerin, atık kablo miktarına göre basınç dayanımlarının karşılaştırılması a) 1KU2, b) 2KU2, c) 3KU2.....	62

Şekil 6.11: %30 uçucu kül içeren numunelerin, atık kablo miktarına göre basınç dayanımlarının karşılaştırılması a) 1KU3, b) 2KU3, c) 3KU3.	63
Şekil 6.12: Kablo atığının, uçucu kül katkılı çimentoların basınç dayanımına etkisi a) %0 atık kablo, b) %10 atık kablo, c) %20 atık kablo, d) %30 atık kablo.	64
Şekil 6.13: 200 °C’de yüksek sıcaklığa maruz kalan a) 3KU3 numunesi b) 2KU2 numunesi.	66
Şekil 6.14: 400 °C’de yüksek sıcaklığa maruz kalan numuneler.....	66
Şekil 6.15: 200 °C’ de yüksek sıcaklığa maruz kalıp, basınç dayanımı deneyi uygulanan KU numunesi.....	67
Şekil 6.16: 200 °C, 400 °C ısıtılan numuneler ile kontrol numunelerinin basınç dayanımı değerleri.....	68
Şekil 6.17: 200 °C ve 400 °C ısıtılan numunelerin ağırlık kaybı (%).	68
Şekil 6.18: Donma-Çözülme deneyi sonrası küp numuneler.	70
Şekil 6.19: Donma-Çözülme deneyi uygulanan numunelerin, uçucu kül miktarına göre basınç dayanımı gelişimi a) atık kablo bulunmayan, b) %10 atık kablo bulunan, c) %20 atık kablo bulunan, d) %30 atık kablo bulunan.	72
Şekil 6.20: Donma-Çözülme deneyi uygulanan numunelerin, atık kablo miktarına göre basınç dayanımı gelişimi a) uçucu kül bulunmayan, b) %10 uçucu kül bulunan, c) %20 uçucu kül bulunan, d) %30 uçucu kül bulunan.....	73
Şekil 6.21: Donma-Çözülme deneyi uygulanan numuneler ile kontrol numunelerinin basınç dayanım değerleri.	73

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1: 2017 yılı üretilen, piyasaya sürülen ambalaj ve ambalaj atığı miktarları [12]	6
Tablo 3.1: Çimento dayanım sınıfları ve karakteristik değerleri [30].....	16
Tablo 5.1: Çimentonun fiziksel özellikleri.....	36
Tablo 5.2: Çimentonun kimyasal bileşimi	36
Tablo 5.3: Uçucu külün kimyasal bileşimi	37
Tablo 5.4: Agregaların kimyasal özellikleri.....	38
Tablo 5.5: 0,8-2 mm boyutlarındaki kuvars kumu elek analizi	38
Tablo 5.6: 0-0,8 mm boyutlarındaki kuvars kumu elek analizi	39
Tablo 5.7: Öğütülmüş kablo atığı elek analizi	40
Tablo 5.8: Harç karışım oranları	41
Tablo 6.1: Eğilmede çekme dayanımı deney sonuçları (MPa)	47
Tablo 6.2: Basınç dayanımı deney sonuçları (MPa)	57
Tablo 6.3: Ağırlıkça su emme oranı (%).....	69
Tablo 6.4: Donma-Çözülme deneyine maruz kalmış numunelerin ve kontrol numunelerinin basınç dayanım, ağırlık değişimi ve basınç dayanım değişimi değerleri.	71

SEMBOL LİSTESİ

°C	: Santigrat Derece
g	: Gram
kg	: Kilogram
t	: Ton
MPa	: Megapaskal
µm	: Mikrometre
mm	: Milimetre
cm²	: Santimetre kare
cm³	: Santimetre küp
m³	: Metre küp
dk	: Dakika



ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez konumun belirlenmesinde, deneysel çalışmalarımın yürütülmesinde desteklerini esirgemeyen, bilgi ve tecrübelerini paylaşarak yol gösteren danışman hocam Doç. Dr. Arın YILMAZ' a teşekkürlerimi sunarım.

Tez ve laboratuvar çalışmalarımda beni hiç yalnız bırakmayarak, her türlü konuda desteğini esirgemeyen eşim Ozan KARAKULAK' a sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca manevi desteklerini benden esirgemeyen annem Gülser ve babam Şenol DURMUŞ' a canı gönülden teşekkür ederim.

Deneysel çalışmalarım için malzeme temini sağlayan ve her türlü konuda yardımcı olan İsa GÜLENÇ ve Sabri GÜRLEK' e, Aydınlar Madencilik İnş. San. ve Tic. Ltd. Şti.' ne ve çalışanı Hakan ÇELİKAY' a, Öznak Geri Dönüşüm Ltd. Şti.' ne ve çalışanı Hülya YILDIZ' a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek Lisans öğrenimim boyunca her türlü hoşgörü ve anlayışı göstererek destekte bulunan değerli patronlarım Güner-Hikmet İKİZ' e teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Balıkesir, 2019

Ezgi KARAKULAK

1. GİRİŞ

Ülkemizde ve dünyada hızla artan sanayileşme, kentleşme, teknolojiye meydana gelen gelişmeler, üretim ve tüketimin artmasına sebep olmuştur. Üretimdeki artış doğal kaynak kullanımını beraberinde getirmiştir. Tüketimin artmasıyla da atıklarda artış meydana gelirken, bu durum insan ve çevre sağlığını olumsuz etkileyecek boyutlara ulaşmıştır [1]. Geri dönüşüm sayesinde çeşitli sektörlerde ikincil hammadde görevi gören bazı atık malzemeler olmasına karşın kalanlar özellikle Türkiye’de kontrol olmaksızın düzensiz depolama alanlarına dökülmektedir. Bu yüzden artan atık maddeler için düzenli depolama alanlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu yerlerin inşasına ve gittikçe artan maliyetler nedeniyle atıklar için alternatif kullanım alanlarına ihtiyaç duyulmuştur.

Atık maddelerin beton karışımında kullanılmasıyla ilgili çeşitli araştırmalar yapılmaya devam etmektedir. Beton içerisinde kullanılacak atık ürünlerin başında; plastikler, cam, kömürün yanması sonucu oluşan küller, araba lastikleri, kablo atıkları, çelik malzemeler gelmektedir. Bu atık malzemelerin beton içerisinde kullanılması ekonomik bir durum oluşturması yanında bertaraf etme problemlerinin de azaltılmasına sebep olmaktadır. Beton karışımında kullanılan bu atık malzemeler, taze ve sertleşmiş betonun özelliklerine önemli bir etki sağladıkları yapılan araştırmalar neticesinde ortaya konulmuştur.

Bu tez çalışmasında uçucu kül ve öğütülmüş kablo atıklarının çimento harcı üretiminde kullanılması araştırılmıştır. %10, %20 ve %30 oranlarında ikame olarak harç karışımına eklenen bu atıklarla küp ve prizmatik şekilli harç numuneler üretilmiştir. Uçucu külün çimento yerine, öğütülmüş kablo atığının ise harç içerisindeki agrega yerine kullanılması bu çalışmanın amacını oluşturmaktadır.

Öğütülmüş kablo atığı kullanımıyla; doğal kaynaklarımızın korunması, atık ürünlerin toplandığı düzenli depolama alanlarında yer açılması, insan ve çevre sağlığının korunması, beton karışımında kullanılarak olumlu etkisinin araştırılması amaçlanmıştır.

Uçucu kül kullanımıyla; endüstriyel atık olan bu malzemenin termik santrallerden atım maliyetlerinin düşürülmesi, kablo atığında olduğu gibi depolama alanlarındaki sorunların çözülmesi, beton karışımında çimento ile çeşitli oranlarda ikame edilip dayanımın gelişimine etkisinin araştırılması ve beton üretim maliyetlerinin düşürülmesi amaçlanmıştır.



2. ATIK KAVRAMI

Gelişen dünyada sanayileşme ve kentleşmenin etki etmesi neticesinde kaynaklar bilinçsiz bir şekilde kullanılmaktadır. Bu kullanım sonucunda atıklar meydana gelmektedir. Atık sorunu her alanda toplumu etkilemiştir. Bu sorunu ortadan kaldırmak için atık maddeleri çeşitli sektörlerde kullanarak hem depolama alanından hem hammadde gereksiniminden avantajlar elde edilmektedir. Atık çeşitlerinden, ayrıldıkları sınıfa göre kısaca bahsedilmiştir. Bunlar;

Yaşadığımız konutlarda veya çalıştığımız yerlerde meydana gelen, içeriğinde tehlikeli ve zararlı maddeler olmayan atıklara “evsel atıklar” denilmektedir [2]. Bu atıklar belediyeler tarafından toplanır, depolanır, geri kazanım ürünleri elde edilebilir ve yakılabilirler. Evsel nitelikli atıklar; yiyecek atıkları, ambalaj atıkları, cam kavanozlar, plastik su, meşrubat şişeleri ve kartonları, metal ve teneke konserve kutuları olarak örneklendirilebilir [3].

Klinik, hastane, muayenehane gibi tedavi ve sağlık merkezlerinde meydana gelen atıklar ayrıca kullanılmış tıbbi malzemeler ve ilaçlarda “tıbbi atık” olarak nitelendirilir. Sağlık kuruluşlarında meydana gelen atıkların %75-90 ‘ı tehlikeli olarak adlandırılmayan genel tıbbi atıklardır. %10-25’i ise tehlikeli tıbbi atık olarak nitelendirilebilir [4].

Farklı üretim tesislerinde ve sanayide meydana gelip, insan ve çevre sağlığına zararı olan atıklara “tehlikeli atık” denilmektedir. Tehlike niteliğinde olan atıklar; çeşitli kimyasallar, boya, piller ve aküler olarak örneklendirilebilir.

Sanayi ve üretim tesislerinde endüstriyel işlemler sırasında veya sonunda meydana gelen atıklara “endüstriyel katı atıklar” denilmektedir. Endüstriyel atıklar, çevre kirliliğinin önlenmesi, yer altı ve yer üstü kaynaklarının koruma altına alınması ve geri kazanım işlemlerinin devamlılığı açısından uygun bir anlayışa göre yönetilmelidir [5].

Yapılan inşaatlarda, yıkım çalışmalarında, yol tamirlerinde ve evlerdeki tamiratlar esnasında meydana gelen atıklara “inşaat atıkları” denilmektedir. Bu atıklara demir, tahta, beton, kırık camlar, plastikler örnek verilebilir [6].

Bitkisel ve hayvansal ürün elde etmek için, ürünün işlenmesi esnasında veya sonrasında meydana gelen atıklara “tarımsal atık” denilmektedir. Bu atıklara sap, saman, gübre, ot, çekirdek, yaprak örnek verilebilir [7].

Plastik atıklar, atık çeşitlerinden evsel atıklar kategorisinde yer almaktadır. İlgili bölümde plastik atıklar hakkında detaylı bilgi verilecektir.

2.1 Plastik Atıklar

Plastiklerin kaynağı; ham petrol, gaz ve kömürdür. Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği’nde ise plastik, “petrol türevlerinden elde edilen sıcaklık ya da polimerizasyon yoluyla şekillendirilebilen, yeniden sıcaklık tatbik edildiğinde şekil değiştirebilen polimer (örneğin PVC, PET, PS, PP, PA, PC ve benzeri)” şeklinde tanımlanmıştır [8].

Petrolün %4’lük bir kısmını plastik üretimi almaktadır. Plastiklerden Polietilen (PE), Polipropilen (PP), Polietilen Tereftalat (PET), Polivinil Klorür (PVC), Polistren (PS) en çok tüketilen malzemeler arasındadır. Bu yüzden çevrede atık olarak en çok bu malzemeler bulunmaktadır. Plastikler, çöpe atıldıklarında çürümez, paslanmaz, çözünmez, biyolojik olarak bozulmaz ve doğada bozulmadan uzun yıllar kalırlar. Suyun ve toprağın kirlenmesine sebep olurlar. Sulardaki canlılara zarar verirler ve maalesef ölümlerine neden olurlar [9]. Yapılan araştırmalar ve çalışmalar dünyada üretilen plastiklerin %1,5-4,5’inin okyanuslara taşındığını göstermiştir [10]. Bu ve bunun gibi birçok sebep neticesinde bu sorunların üstesinden gelmek için plastiklerin geri dönüşüm sürecini hızlandırmak gerekmektedir.

2.2 Ögütülmüş Kablo Atığı

Elektrikli ve elektronik malzemelerin ana parçalarından biri olan kablolar, bünyesinde plastik, alüminyum ve bakır bulundurlar. Kabloları dış etkenlerden korumak amacıyla PVC ve polietilen türünde plastikler ile kaplanırlar. Ayrıca bünyesinde bakır, pirinç, gümüş gibi teller barındırdıklarından iletkenlik özelliğine sahiptirler. Kablolar, bünyesinde bulundukları bu materyaller neticesinde geri dönüştürülebilir atıklar arasında önemli bir sırada yer almaktadırlar. Bu yüzden kullanım ömrünü tamamlayan kablolar geri dönüşüm sürecine dahil edilmelidir.

Geri Dönüşüm Firmaları yenilikçi, çevreyi kirletmeyen ve teknolojik yöntemlerle atık kabloları kırıcılardan geçirip, üzerindeki plastiği ve içindeki bakır ve alüminyumu birbirinden ayırarak tekrar kullanılabilir hammadde olarak sanayiye ve ekonomiye sunmaktadırlar.

2.3 Plastik Atık Miktarları

Dünyada 1950'li yıllarda yıllık yaklaşık 5 milyon ton olan plastik malzeme kullanımı 2001'li yıllara geldiğimizde yaklaşık 100 milyon tona yükselmiştir [11]. Bu durum tüketilen plastik malzemelere orantılı olarak atık malzeme miktarının git gide yükseldiğini ortaya koymaktadır. Türkiye'de yılda 25 milyon tonun üzerinde atık üretilmektedir. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından 28.02.2019 tarihinde yayınlanan ambalaj bültenine göre 2017 yılı istatistikleri Tablo 2.1'de verilmiştir [12]. Şekil 2.1'de ise piyasaya sürülen ve bertarafı AAK Yönetmeliği çerçevesinde gerçekleştirilen ambalajların cinslerine göre oranları gösterilmiştir.

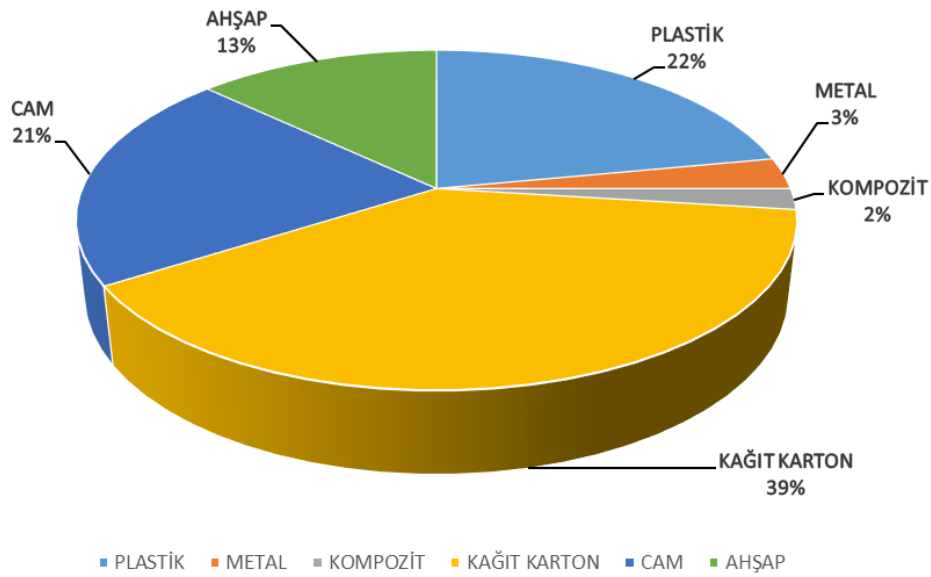
Tablo 2.1: 2017 yılı üretilen, piyasaya sürülen ambalaj ve ambalaj atığı miktarları [12].

Atık Cinsi	Üretilen Ambalaj (ton)	B-1 ¹ Kapsamında			B-2 ² Kapsamında Piyasaya Sürülen (ton)	C ³ Kapsamında Temin Edilen (ton)
		Piyasaya Sürülen (ton)	Geri Kazanılan (ton)	Gerçekleşen Geri Kazanım Oranı (%)		
Plastik	3.150.000	915.301	497.089	54	87.742	19.998
Metal	373.682	142.482	81.146	57	71.696	5.332
Kompozit	300.519	96.385	55.410	57	6.781	102
Kağıt Karton	2.757.848	1.604.823	1.258.128	78	19.853	9.707
Cam	1.331.265	845.615	193.563	23	37.264	103.471
Ahşap	719.741	523.261	113.509	22	5.187	38.517
Toplam	8.663.055	4.127.867	2.198.845	53	228.523	177.127

¹ B-1: Bertarafı AAK Yönetmeliği çerçevesinde gerçekleştirilen ambalajlar

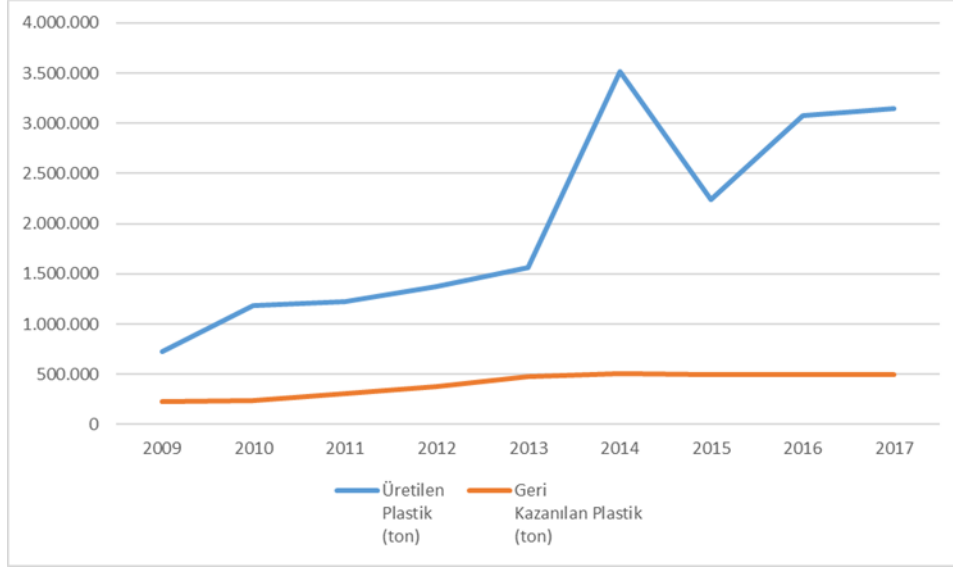
² B-2: Bertarafı Ambalaj Atıklarının Kontrolü (AAK) Yönetmeliği dışındaki mevzuat çerçevesinde gerçekleştirilen ambalajlar

³ C: AAK Yönetmeliği kapsamında depozitolu olarak piyasaya sürülen ambalajlar



Şekil 2.1: B-1 kapsamında piyasaya sürülen ambalaj cinslerine göre oranları [12].

2003 yılında Çevre Koruma Ajansı'nın hazırladığı rapora göre kullanım sonrasında plastik atıkların %80'i çöplüğe gönderilmiştir, %8'i yakılmıştır ve %7'si geri dönüştürülmüştür [13]. Türkiye'de 2009 yılından 2017 yılına kadar üretilen plastik miktarı ve geri dönüştürülen plastik miktarları Şekil 2.2'de verilmiştir.



Şekil 2.2: Türkiye'de 2009-2017 yılları arasında üretilen plastik ve geri dönüştürülen plastik miktarları [12].

2.4 Plastik Atıkların Kullanım Alanları

Bütün dünyada tüketilen plastik miktarı her yıl olağanüstü bir şekilde artış göstermektedir. Tüketen kişiler için kullanıcı dostu olması, esnek olma özelliği, kolay bir şekilde üretim olanağı sağlaması, üretim maliyetinin düşük olması ve uzun ömürlü olması bu büyümenin temel etkenleri arasındadır.

Plastikler; endüstriyel, ambajlama ve otomotiv sektörlerinde geniş kullanım alanları bulmalarının yanı sıra tıbbi dağıtım uygulamalarında, yapay implant ve diğer sağlık uygulamalarında, bakterilerin ve su tuzlarının giderilmesinde, gıda sektöründe, iletişim ve elektronik haberleşme endüstrisinde kullanım alanı bulmuştur. Bunları detaylandırmak gerekirse;

Polietilen Tereftalat (PET), sert ve şeffaf bir plastiktir. Lif olarak kullanılabilir. Genellikle maden suyu, su ve meşrubat şişelerinin yapımında, uyku tulumlarında, yastıklar için dolgu malzemesi olarak ve tekstil sektöründe elyaf olarak kullanılabilir. Geri dönüştürülmüş petler ise yine meşrubat şişelerinde, polar ceketlerde, deterjan şişelerinde, ambalajlar için şeffaf film olarak ve halılardaki elyaflarda kullanılmaktadır [14].

Atık olan plastikleştirilmemiş polivinil klorür (UPVC) deterjan şişelerinde, sıhhi tesisat boru bağlantı parçalarında ve fayanslarda kullanım alanı bulmaktadır. Ayrıca atık olan plastikleştirilmiş polivinil klorür (PPVC) endüstriyel zeminde, hortumların iç katmanında kullanılmaktadır.

Atık araba lastikleri çeşitli desen ve renklerde karo yada kilitli parke taşı olarak kullanım alanı bulmaktadır. Özellikle çocuk parklarına döşenen bu lastik karolar yumuşaklığı sayesinde çocukların güvenle oynayacağı alan haline dönüşmüş olur. Toz yada granül haline getirilmiş lastikler yürüyüş yoluna yada spor sahalarına döşenmektedir. Ayrıca katkı maddesi olarak asfalt yapımında kullanılır. Ayakkabı yada bota dönüştürülür. Yüksek sıcaklıklarda ısıtılarak gaz ve yağ haline getirilip, elektrik santrallerinde ekstra yakıt olarak kullanılmaktadır [15].

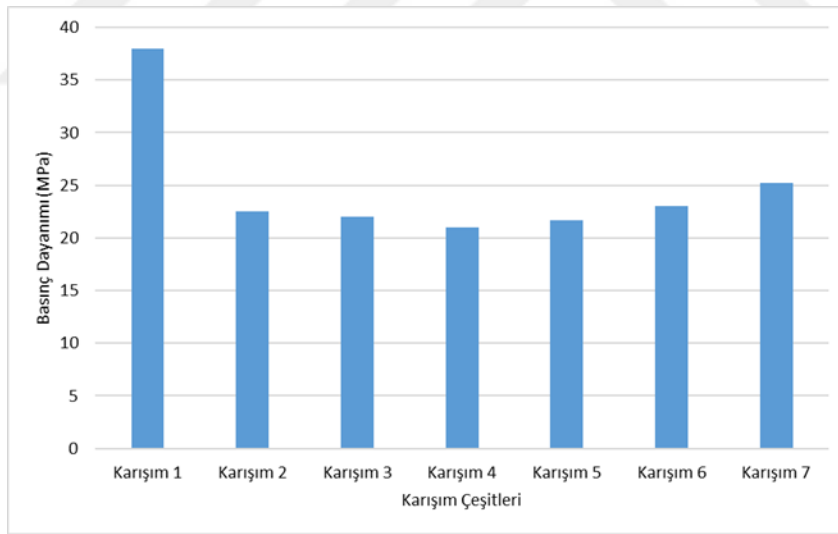
2.5 Öğütülmüş Kablo Atıkları ve Plastik Atıkların Beton Üretiminde Kullanılması

Beton, dünyada sudan sonra en çok tüketilen malzeme olmuştur [16]. Bunun nedenlerinin başında ekonomik olması gelmektedir. Örneklendirmek gerekirse; beton üretiminde kullanılan enerji çelik üretiminde kullanılan enerjiden 20 kat daha azdır [17]. Bir beton karışımı hacimce %8-16 çimento, %10-18 su ve %65-75 oranında agregadan oluşmaktadır. Bu yüzdelere bakıldığında agrega beton karışımının çoğunluğunu kapsamaktadır.

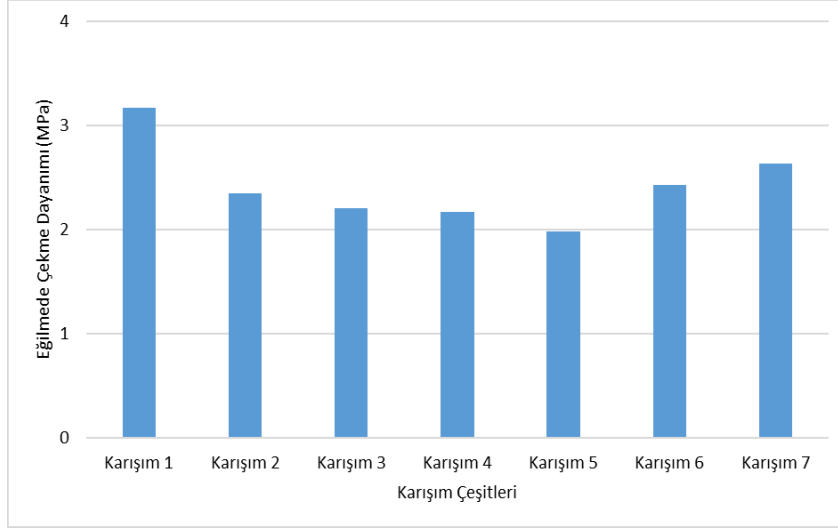
Agrega, doğadan kolaylıkla temin edilebilen bir malzemedir. Fakat çöpe atılsa da doğada uzun yıllar bozulmadan kalan plastikler çevreye oldukça zarar vermektedirler. Bu plastikler geri dönüşüm vasıtasıyla tekrar çeşitli sektörlerde 2. hammadde olarak kazandırılmaktadır. İnşaat sektöründe de beton içinde agrega olarak neden kullanılmasın sorusu akla gelmektedir. Bu konuyla ilgili çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Pet şişe kırıkları, öğütülmüş kablo atıkları, öğütülmüş araba lastiği atıkları ve bunun gibi birçok plastik malzeme agrega olarak kullanılarak beton dayanımına etkisi araştırılmıştır. Bu araştırmalarda plastik malzeme kullanılan betonlar; depreme dayanıklı yapı tasarımlarında, yapıdaki ölü yükü azalttığı ve deprem sırasında sismik risk oranını en alt seviyeye düşürdüğü ayrıca bu

gelişmelerden dolayı enerji kaybını ve çevre kirliliğini ortadan kaldırdığı gözlemlenmiştir [18].

Li ve diğerleri, atık lastikleri iki farklı şekilde değerlendirmiştir. Bunlardan birincisi lif şeklinde olan parçalardır. Diğeri ise rastgele şekilde parçalanmış lastiklerdir. Bu atık lastikleri %15 oranında agrega ile yer değiştirerek kullanmışlardır. Yapılan deneylerin sonucunda lif şeklindeki atık lastiklerin, rastgele parçalanmış lastiklere göre dayanımının daha iyi olduğu ve eğilme deneyinde %13, basınç deneyinde ise %11 daha dayanıklı olduğu sonucu alınmıştır. Yapılan çalışmalar neticesinde, Şekil 2.3’de basınç dayanımı ve Şekil 2.4’de eğilmede çekme dayanımı grafikleri verilmiştir. Grafiklerde gösterilen karışım çeşitlerinden; karışım 1 kontrol numunesini, karışım 2 çelik halatlı olan, karışık kamyon ve araba lastiği kırıntıları bulunan numuneyi, karışım 3, 4 ve 5 farklı boyutlarda olan, çelik halatsız araba lastiği lifleri bulunan numuneleri, karışım 6 çelik halatlı araba lastiği lifleri bulunan numuneyi ve karışım 7 çelik halatlı olan, kamyon ve araba lastiği lifleri bulunan numuneyi göstermektedir [19].



Şekil 2.3: Atık lastiklerin basınç dayanımı grafiği [19].



Şekil 2.4: Atık lastiklerin eğilmede çekme dayanımı grafiği [19].

Aiello ve diğerleri, yapmış olduğu deneylerde agrega olarak ince ve iri şekilde kıyılmış atık lastikleri kullanmışlardır. Deney sonuçlarına göre iri kıyılmış lastikler, ince kıyılmış lastiklere oranla daha az dayanım göstermiştir [20].

Al-Maneer ve Dala, araba tamponlarından elde edilen atık plastikleri beton üretiminde agrega olarak kullanmışlardır. Yaptıkları deneyde kullanılan agrega yaklaşık %10-%50 arasında plastik içermektedir. Elde edilen betonların 28 günlük eğilmede çekme dayanımı 3,2-6,5 MPa arasında, basınç dayanımı 19-48 MPa arasında geldiği gözlemlenmiştir. Yapılan karışımlardaki plastik oranı arttıkça yoğunlukları azalmaktadır. Betonda bu plastik malzemelerin agrega olarak kullanılmasıyla, beton normale oranla daha fazla sünek davranış göstermiştir ve bu özelliğinden dolayı betonda çatlak oluşumunun azaltılması bakımından yarar sağlayacağı düşünülmektedir [21].

Semiha Akçaözöglü, atık pet şişe kırıklarının hafif beton agregası olarak kullanılabilirliğini araştırmıştır. Yaptığı çalışmalar sonucunda atık pet şişe kırıklarıyla yapılan betonların depreme dayanıklı yapı tasarımlarında olumlu sonuçlar doğuracağını göstermiştir [22].

Şahin ve arkadaşları; PVC atıklarını %0, %10, %20 ve %30 oranlarında doğal hafif agregaya ilave etmişlerdir. Bu yöntemle ürettikleri hafif betonlar üzerinde deneyler yapmışlardır. Çalışmalar sonucunda, basınç dayanımı istenilen düzeyde, birim hacim ağırlığı düşük ve su emme yüzdesi az olan beton üretimi amaçlanmıştır.

Yapılan deneylerin sonucuna göre, harç karışımı içerisindeki PVC oranının artırılması basınç dayanımı ve birim hacim ağırlığı arttırmıştır. Fakat su emme yüzdesinin azaldığı görülmüştür. Araştırmacılar, deneyler neticesinde PVC ikameli hafif betonların tarımsal yapılarda duvar malzemesi olarak kullanılabileceğini söylemişlerdir. Bu sayede bazı yapı malzemelerine oranla daha iyi ısı yalıtımı sağlanacağı kanısına varılmıştır. Bunun en önemli etkeni olarak su emme yüzdesinin az olması gösterilmiştir [23].

Binici vd., kullanılmış polietilen (PE) bardakları lif haline getirerek harç karışımında bağlayıcı olarak kullanmışlardır. Bunun için pomza, kalker, bazalt ve kuvars kumları ile bu kumların kütlece %30'u oranında lifli hale getirilmiş PE bardakları, aynı kazanda 180-200 °C'de ısıtmışlardır. Daha sonra elde edilen karışım küp ve prizma şeklindeki kalıplara boşaltılmıştır. Yapılan harç karışımlarında çimento kullanılmamıştır. Üretilen küp ve prizmatik numuneler üzerinde, eğilme ve basınç dayanımı deneyi, aşınma deneyi ve su emme miktarı tayini yapılmıştır. Bunlara ilaveten çimentoyla hazırlanan ve aynı kumların kullanıldığı kontrol numuneleri üretilmiştir. Yapılan deneylerin sonucunda, pomza kumlu ve PE bağlayıcılı numuneler dışındaki tüm numunelerin basınç dayanımları, kontrol numunesinin dayanımından fazla gelmiştir. Bunun nedeni olarak pomzanın boşluklu yapıda olmasından dolayı düşük basınç dayanımına sahip olduğu söylenmiştir. PE bağlayıcılı tüm kumlu numunelerin eğilmede çekme dayanımları ise, kontrol numunesinin dayanım değerinden fazla gelmiştir. Su emme yüzdelere bakıldığında en yüksek değeri kontrol numunesi almıştır [24].

Yılmaz ve Değirmenci, atık otomobil lastiklerini kütlece %20 ve %30 oranlarında harç karışımı içerisinde kullanmışlardır. Ayrıca %20 oranında atık lastiğin olduğu karışımlarda %70 oranında uçucu kül, %30 oranında atık lastiğin olduğu karışımlarda ise %60 oranında uçucu kül bulunmaktadır. Geri kalan %10'luk kısımda da portland çimentosu kullanılmıştır. Bu harç karışımlarından prizmatik numuneler elde edilmiştir. Bunlara ilaveten %90 oranında uçucu kül ve %10 oranında çimentonun kullanıldığı kontrol numuneleri üretilmiştir. Numunelere eğilme ve basınç dayanımları deneyleri uygulanmıştır. 14, 28 ve 56 günlük zaman aralıklarında uygulanan deneyler neticesinde, atık lastik miktarının artmasının basınç dayanımını azalttığını söylemişlerdir. Bununla birlikte, karışım içerisinde bulunan

uçucu kül miktarındaki artışın, dayanımı atırcı yönde destek verdiği kanısına varmışlardır. Atık lastik bulunan numunelerin eğilmede çekme dayanımlarının ise kontrol numunelerinden yüksek değerler aldığını bildirmişlerdir. Ayrıca atık lastik oranının %20'den %30'a çıkmasının da eğilmede çekme dayanımını azalttığını söylemişlerdir [25].

Hassani ve ark., asfalt harç karışımında pet şişe kırıklarını agrega yerine kullanarak, bununla ilgili deneyler yapmışlardır. Pet boyutlarının, kullanılan agrega boyutlarıyla aynı olmasına dikkat etmişlerdir. Atık pet şişe kırıkları, harç karışımında %20-60 oranında doğal agregayla yer değiştirilmiştir. Oluşturulan tüm karışımlarda %6,6 oranında bitüm kullanılmıştır. Yapılan deneylerin sonucunda, atık pet bulunan harç karışımlarının akıcılık değerinin, referans olması açısından hazırlanan betona göre daha düşük olduğunu söylemişlerdir. Atık pet şişe kırıklarının bulunduğu asfalt betonlarının pratik uygulamalar açısından uygun olduğu kanısına varmışlardır [26].

Babu ve Babu, genişletilmiş polistren (PS) tanelerini %22-36 oranlarında kumla ikame ederek, silis dumanını da %3-9 oranlarında çimento ile yer değiştirerek kullanmışlardır. Araştırmacılar yapılan deneyler neticesinde numunelerin basınç dayanımlarının, kullanılan malzemelerin yoğunlukları ile paralellik gösterdiğini söylemişlerdir. Yani genişletilmiş polistren tanelerinin boyutunun küçülüp, iri boyutlu kum agregaların tane boyutlarının büyümesi basınç dayanımını arttırmıştır. Ayrıca silis dumanı miktarındaki artışın dayanımı güçlendirici etki gösterdiğini söylemişlerdir. Buna bağlı olarak basınç dayanımının artması, eğilmede çekme dayanımını da arttırmıştır. Genleştirilmiş polistren agregalı betonların su emme yüzdeleri düşük gelmiştir [27].

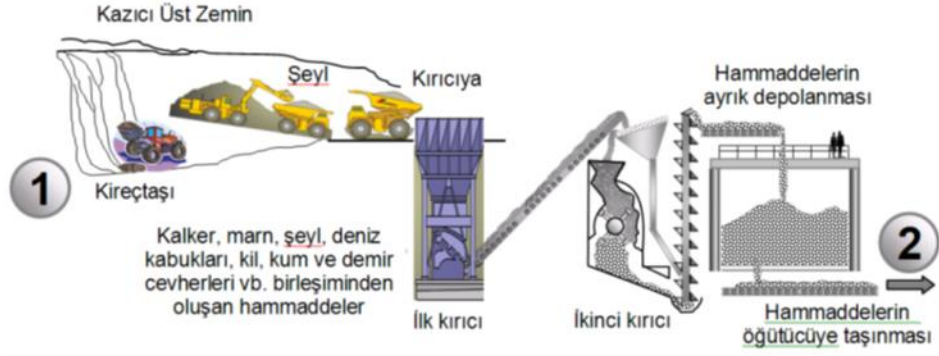
3. ÇİMENTO

Çimento, Latince yontulmuş taş kırıntısı anlamına gelen “caementum” kelimesinden gelmiştir. Daha sonraki yıllarda “bağlayıcı” anlamında kullanılmaya başlanmıştır. 1852 yılında ilk betonarme yapı yapılmıştır [28]. Eski yıllarda kullanılan ilk bağlayıcı madde kireçtir. Çimentonun ana hammaddeleri kalker (kireçtaşı) ve kildir.

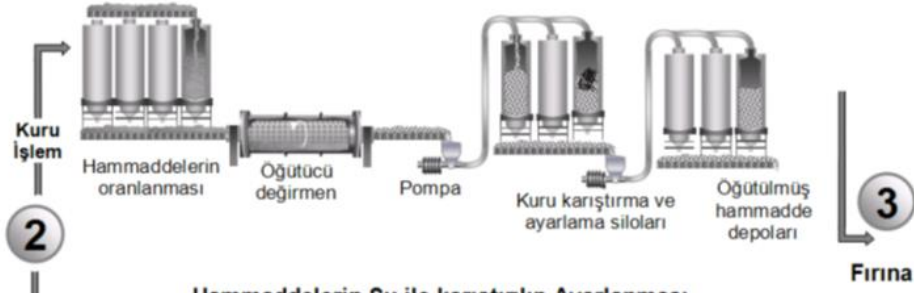
Yüksek sıcaklıktaki fırınlarda, kalker ve kil birbirleriyle karıştırılarak pişirilir ve bu sayede klinker adı verilen malzeme üretilmiş olur. Üretilen klinkere alçı taşı ile belirli oranlarda mineral ve kimyasal katkı malzemeleri karıştırılır. Oluşan bu malzemenin öğütülmesi sonucunda çimento meydana gelir. Çimento üretimi kısaca Şekil 3.1’de 3 aşamada gösterilmiştir.

Türkiye’de ilk çimento fabrikası 1910 yılında Eskişehir’de kurulmuştur. Ülkemizde toplamda 39 çimento fabrikası ve 18 öğütme tesisi bulunmaktadır. Bu veriler neticesinde dünyanın yedinci, Avrupa’nın ise ikinci büyük üreticisi arasındadır. Dünyadaki CO₂’nin %8’nin sorumlusu çimento üretimidir [29].

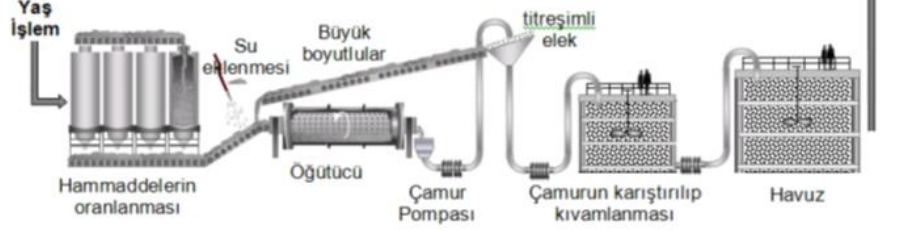
Kayaların Kırılıp İstenen Boyuta İndirilip Depolanması



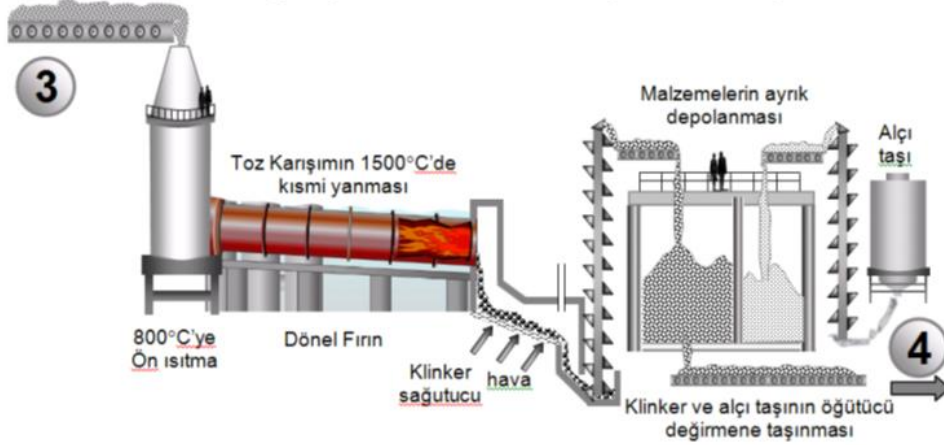
Hammaddelerin Toz Haline Getirilip Karıştırılması



Hammaddelerin Su ile karıştırılıp Ayarlanması



Ham Karışımı Çimento Klinkerine Dönüştüren Yakma İşlemi



Şekil 3.1: Çimento üretim aşamaları [29].

3.1 Çimento Çeşitleri

TS EN 197-1 – Bölüm 1: Genel Çimentolar – Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri Standardı 27 çeşit genel çimentoyu kapsamaktadır [30]. Bu genel çimentolar standartta “CEM çimentosu” olarak adlandırılmıştır. Genel çimentolar 5 ana tipte gruplara ayrılmıştır. Bunlar;

CEM I Portland Çimentosu

CEM II Portland Kompoze Çimento

CEM III Portland Yüksek Fırın Cürufu Çimento

CEM IV Puzolanik Çimento

CEM V Kompoze Çimento

TS EN 197-1 standardında çimento çeşitliliğini belirleyen unsurlar vardır. Bunlar portland çimentosu klinkeri oranları, ana çimento tipleri, ikinci olan ana bileşenler, 28 günlük dayanım sınıfları ve erken dayanım kazanma hızlarıdır [29].

TS EN 197-1 standardında farklı çimento tiplerine göre çimentonun bileşen malzemeleri vardır. Örneğin Portland çimentosu klinkeri ana bileşen sınıfına girmektedir. Uçucu kül, kalker, yüksek fırın cürufu ve silis dumanı gibi katkılar ikinci ana bileşendir. Doğal puzolan ve yine uçucu kül, kalker, yüksek fırın cürufu minör ilave bileşen sınıfına girmektedir. Priz ayarlayıcı malzemelerden alçıtaşı ve kalsiyum sülfatı örnek verebiliriz. Bunların yanında kimyasal katkılardan olan hava sürükleyici katkılar ve pigmentler örnek verilebilir.

3.2 Çimento Dayanım Sınıfları

TS EN 197-1'e göre çimentolar 3 dayanım sınıfına ayrılmaktadır. Bunlar 32.5, 42.5 ve 52.5 MPa olan dayanım sınıflarıdır. Bu üç dayanım sınıfı için 2 adet erken dayanım sınıfı ortaya çıkmıştır.

Tablo 3.1: Çimento dayanım sınıfları ve karakteristik değerleri [30].

Dayanım Sınıfı	Basınç Dayanımı (MPa)			Priz başlama süresi (dk)	Genleşme (mm)	
	Erken Dayanım		Standart Dayanım			
	2 günlük	7 günlük	28 günlük			
32.5 N	-	≥ 16.0	≥ 32.5	≤ 52.5	≥ 75	≤ 10
32.5 R	≥ 10.0	-				
42.5 N	≥ 10.0	-	≥ 42.5	≤ 62.5	≥ 60	
42.5 R	≥ 20.0	-				
52.5 N	≥ 20.0	-	≥ 52.5	-	≥ 45	
52.5 R	≥ 30.0	-				

N : Normal Erken Dayanım Sınıfı

R : Yüksek Erken Dayanım Sınıfı

Örneğin bir çimento türünü ele alırsak;

CEM II/B-P 42,5 R

CEM II : Ana Çimento Tipi

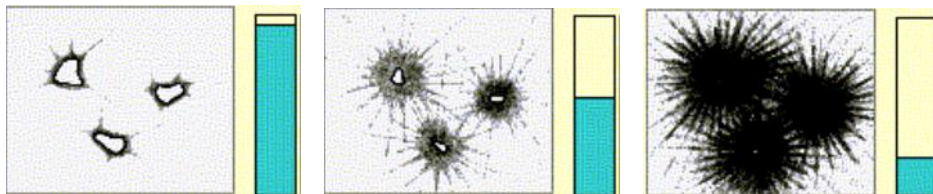
B : Portland Çimentosunun Klinkerinin Oranı (Orta)

P : İkinci ana bileşen (Doğal Puzolan)

42,5 : Standart Dayanım Sınıfı

R : Yüksek Erken Dayanım Sınıfı

Çimentonun dayanım kazanmasını sağlayan 3 önemli faktör bulunmaktadır. Bunlar Şekil 3.2’de görüldüğü gibi hidrasyon, katılaşma ve sertleşme olaylarıdır. Öncelikle çimentoyu meydana getiren malzemelerin su ile birlikte reaksiyona girmesi sonucu hidrasyon olayı meydana gelir. Zamanla prizini alan çimento katılaşır ve son olarak sertleşerek dayanım kazanmış olur [29].



Şekil 3.2: Çimentonun su ile reaksiyona girip sertleşmesi olayı [29].

Çimento dayanımını etkileyen faktörler; çimentonun tipi, çimentonun inceliği, kullanılan mineral ve kimyasal katkıları, kür koşullarına bağlı olarak sıcaklık ve bağıl nem kapsamaktadır. Ayrıca ortamdaki nem ve rüzgar da dayanımını etkileyen durumlar arasındadır.

3.3 Çimentonun Genel Özellikleri

3.3.1 Özgül Ağırlık

Çimentoların özgül ağırlıklarını belirlemede Le Chatelier balonu veya Piknometre kullanılmaktadır. Le Chatelier balonu ve Piknometre cihazı Şekil 3.3 ve Şekil 3.4’de gösterilmiştir.

Le Chatelier balonu saydam cam malzeme ya da sert plastik malzemeden meydana gelmektedir. Altı balon şeklinde şişkindir. Üst kısmı mezura şeklinde ölçülendirilmiştir. Çimento, toz ve ince kumların yoğunluklarını belirlemede kullanılan bir alettir. Terebentin ve genellikle gaz yağı kullanılarak özgül ağırlık ölçümü yapılmaktadır [31].



Şekil 3.3: Le chatelier balonu.

Piknometre; çimento, toz ve ince kumların özgül ağırlıklarını belirlemede kullanılmaktadır.



Şekil 3.4: Piknometre.

Hata yapma oranının az olması ve kesin sonuçlar vermesi sebebiyle Le Chatelier balonu ile deneylerin yapılması önerilmektedir.

Normal portland çimentosunun özgül ağırlık değeri $3,10-3,15 \text{ g/cm}^3$ değerleri arasındadır. Katkılı (cürüflu ve traslı) çimentoların özgül ağırlık değeri ise $2,90 \text{ g/cm}^3$ civarındadır.

3.3.2 Tane Boyutu

Çimentonun tane boyutları $6,5-90$ mikron aralığında değişim göstermektedir. Genel olarak bakıldığında 30 mikron civarındadır [29]. Çimentolarda 74 mikrondan büyük boyutlu tanelerin oranı $\%14$ 'ü geçmemelidir. Bunun nedeni çimentonun bağlayıcılık özelliğini arttırmak ve hidrasyon olayının meydana gelmesini sağlamaktır.

Çimento eğer ince taneli olursa bu durum betonun dayanımını artırmaktadır. Ayrıca ince taneli çimentoyla yapılan betonların terlemesi, iri taneyle yapılanlara oranla daha azdır. Bunlar ince taneli çimentoların betona olumlu etkileridir. Diğer taraftan ince taneli çimentoları ıslatmak için kullanılan su miktarı artmaktadır. Betonda büzülme sebepleri olabilir ve yine betonda çatlama durumları söz konusu olmaktadır. Bunlarda betona olumsuz olarak yansıyan durumlarıdır.

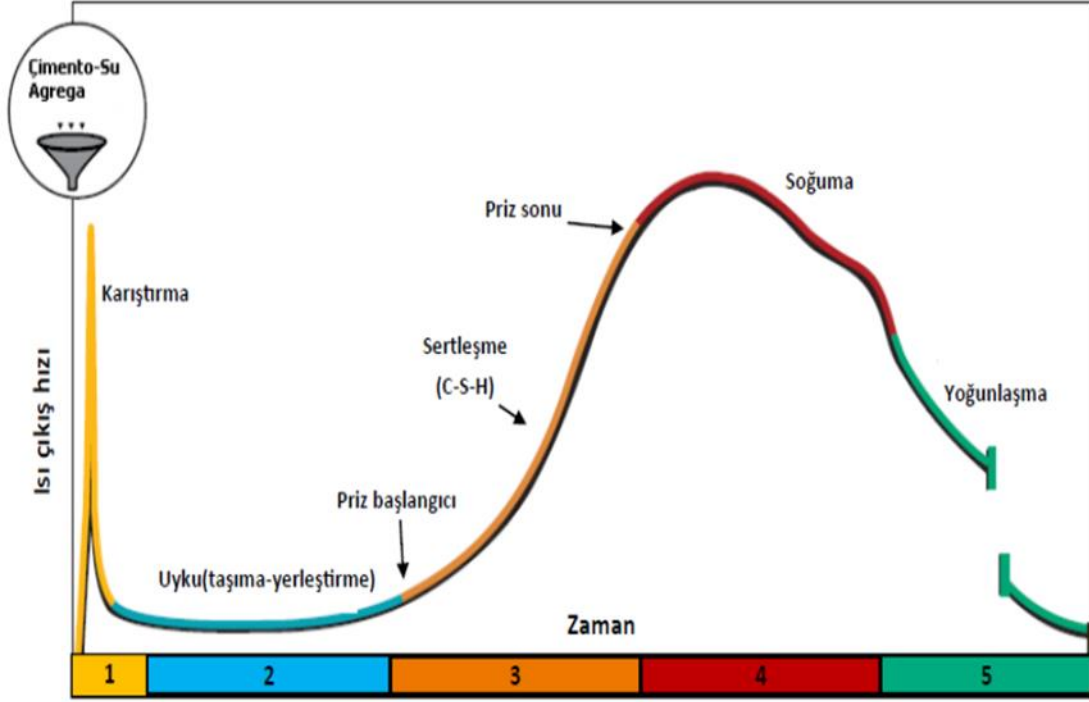
3.3.3 Hidratasyon

Beton içerisindeki malzemeler karıştırılıp birkaç saat bekletildikten sonra plastik özelliğini kaybedip, sertleşmeye başlarlar. Bu duruma sebep olan ve çimentoya suyun eklenmesi sonucu meydana gelen kimyasal tepkimeye “hidratasyon” adı verilir [32].

Çimentoya suyun eklenmesiyle çimento içerisinde bulunan tanecikler yavaş yavaş suda çözünmeye başlar. Oluşan bu kimyasal reaksiyon sonucunda ısı açığa çıkmaktadır ve yeni ürünler oluşmaktadır. Bu ürünler çimento hamurunun katılaşmasına sebep olur. Ayrıca oluşan yeni ürünler çimento hamuru ile agregaların bağlanmasını sağlamaktadır.

Şekil 3.5’de gösterildiği gibi hidratasyon olayını meydana getiren 5 ana süreç vardır. Bunlar şu şekildedir;

1. Karıştırma süreci
2. Uyku süreci
3. Sertleşme (priz) süreci
4. Soğuma süreci
5. Yoğunlaşma süreci



Şekil 3.5: Hidratasyon süreçleri [33].

Hidratasyon olayını önemli ölçüde etkileyen durum zamandır. Karıştırma süreci yaklaşık 10-15 dakikada meydana gelir. Bu süreçte aniden yüksek ısı çıkışı olur ve bunu takip eden süreçte aniden düşme meydana gelir.

Uyku süreci 2-4 saat içinde tamamlanmış olur. Bu süreçte çimento karışımı hala plastik durumdadır. Isı çıkışı çok düşük seviyelere inmiştir. Plastik olma özelliğinden dolayı işlenebilirlik özelliği devam etmektedir. Bu durum betonun kolayca taşınmasını ve yerleştirilmesini sağlamaktadır.

Sertleşme süreci 2-4 saat içinde sona ermektedir. Bu süreçte ısı çıkışı yüksektir. Betonda priz alma ve bunu takiben sertleşme durumu oluşur. Betonda yavaş yavaş dayanım kazanma özelliği artar. Bu yüzden betonu koruma ve kür işlemlerine biran önce başlanmalıdır.

Soğuma sürecinde sürtünme ve büzülme olaylarından dolayı betonda iç gerilmeler oluşabilir. Bu gerilmeler betonda çatlak oluşumuna neden olmaktadır. Bu yüzden iç gerilmeler betonun dayanım alma sınırını geçmemelidir. Gerilmeleri azaltmak için alınacak önlemlerin başında betonda derz oluşumuna gidilmelidir.

Yoğunlaşma süreci, hidrasyon olayının son basamağıdır. Bu süreç senelerce devam etmektedir. Bu olaya hidrasyon kinetiği adı verilir [34]. Beton gün geçtikte dayanım kazanmaya devam eder.

Çimentonun ince taneli olması hidrasyon ısısını artırmaktadır. Hidrasyon ekzotermik bir reaksiyondur. Hidrasyon ısısının yüksek olması soğuk havalarda önemli bir avantaj sağlamaktadır. Düşük olması ise büyük kütle betonlarında, örnek verecek olursak barajlarda avantaj sağlamaktadır.

3.3.4 Priz Süresi

Priz, bağlayıcı maddelerin su ile reaksiyona girip, belirli bir süre geçtikten sonra bünyesindeki suyu kaybederek plastik şekil değiştirme yeteneğini kaybetmesine veya katılaşmasına verilen addır.

Portland çimentolarının priz başlama süresi minimum 1 saat, priz sona erme süresi ise maksimum 10 saat olarak belirtilmiştir. ASTM Standartları priz başlama süresini minimum 45 dakika, priz sona erme süresini ise maksimum 375 dakika olarak vermiştir. TS EN 197-1 Standardında ise 32,5, 42,5 ve 52,5 dayanımlı çimentolar için priz başlama süresi sırasıyla minimum 75, 60 ve 45 dakika olarak belirtilmiştir [35]. Bazı durumlarda örneğin su kaçağı olması durumunda, bu durumun kısa sürede önüne geçmek için hızlı priz alan çimentolar kullanılır. Eğer çimento üretiminde alçı taşı konulmaz ise 8-15 dakika arasında çimento prizini almış olur [35]. Priz sürelerinin tayininde ASTM C 191 ve TS EN 196-3 standartlarına bakılmalıdır.

Çimentoların priz sürelerini etkileyen bazı faktörler vardır. Sıcaklık priz süresini hızlandıran bir etkidir. Bunun nedeni sıcak bir ortamda hidrasyon olayı da çabuklaştığı için priz süresinin hızlanmasına bir başka değişle kısalmasına neden olur. Bunun tam tersi durumunda yani sıcaklık azalırsa priz süresi de uzamaktadır. Beton içinde kullanılan su miktarını arttırsak çimentonun priz alma süresi uzamaktadır. Çimentonun kullanılmadan önce uzun süre bekletilmesi havadaki nemden etkilenmesine neden olmaktadır. Bu sebeple priz alma süresi uzamaktadır. Çimento tanelerinin inceliği de priz süresini etkilemektedir. Çimento ne kadar ince

öğütülmüşse priz süresi de buna bağlı kısalmaktadır. Kimyasal katkı malzemelerinden olan Na_2O ve K_2O oksitlerinin çimentoda fazla bulunması durumunda priz süresi kısalmaktadır [36].



4. MİNERAL KATKILAR

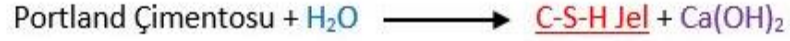
Mineral katkıları tek başına bağlayıcılık özelliği taşımazlar. Fakat çimentoların bağlayıcılık özelliği vardır. Bu sebeple çimento ile birlikte kullanıldıklarında benzer görev görürler. Bunun en büyük avantajı çimento ekonomisi sağlamalarıdır. Ayrıca teknik ve çevresel avantajları mevcuttur. Yüksek mukavemet sağlaması ve düşük hidrasyon ısı vermesi teknik avantajlarından biridir. Çevresel avantajlarına gelince klinker ana maddesinin daha az tüketimini sağlamak ve bu sebeple daha az sera gazı emisyonu salınımı (CO_2) olmaktadır. Mineral katkılardan atık olanlar çimentoyla kullanıldığı için doğanın kirlenmesini en aza indirmektedir. Ayrıca bu atık olanların saklanması için kullanılan enerjiden tasarruf elde edilmektedir.

4.1 Yüksek Fırın Cürufu

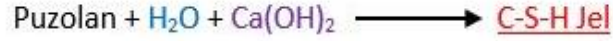
İçerisinde oldukça fazla miktarda demir filizleri bulunan kayalar, $1400\text{ }^\circ\text{C}$ 'de "Yüksek Fırın" adı verilen fırınlarda ısıtılırlar. Bu fırınlarda eriyen demir filizleri akkor halinde aşağıya doğru akarlar. Akkor halinde erimiş demir, çelikhaneye taşınır. Fırın içerisinde geriye kayaç kalıntıları kalır ve bunlar soğumaya bırakılırlar. Soğuduktan sonra elde edilen, kum görümlü bu malzemeye "Yüksek Fırın Cürufu" denilmektedir [37]. Kısaca cüruf, ham demir üretimi artığıdır.

Cüruf içerisinde %12-18 oranında Al_2O_3 , %26-34 oranında SiO_2 , %42-48 oranında CaO ve az oranlarda MgO , Fe_2O_3 , MnO , CaS ve MnS bulunmaktadır [29]. Bünyelerinde SiO_2 ve Al_2O_3 bulundukları için puzolanik madde özelliği taşırlar. Bu sebeple $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ile kolay tepkimeye girerler [38]. Şekil 4.1' de çimentonun suyla reaksiyonu sonucunda açığa çıkan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 'nin, puzolanik maddelerle reaksiyona girerek, bağlayıcılık özelliği bulunan C-S-H jelinin meydana gelişi gösterilmiştir.

Çimento Reaksiyonu



Puzolonik Reaksiyon



Şekil 4.1: Çimento reaksiyonu ve puzolonik reaksiyon.

Öğütülmüş cürufa aniden soğutma işlemi uygulanıp camsı yapıya gelmesi sağlanır. Daha sonra portland klinkeri ile karıştırılıp alçı taşı eklenerek çimento elde edilir. Hidratasyon olayı cürufllu çimentolarda yavaş meydana gelir. Bu yüzden kür işlemi normale oranla daha uzun süre uygulanmalıdır. Kurak iklimli yerlerde hidratasyon durumundan dolayı cürufllu çimentolar tercih edilmemelidir. Fakat baraj inşaatı gibi büyük kütleli yapılarda tercih edilebilir. Nedeni hidratasyon ısılarının düşük olması kaynaklıdır.

Cürufllu çimentoların dayanımları özellikle ilk günlerde normal portland çimentolarına göre daha düşüktür. Bu çimentoların kimyasal etkilere karşı dayanımı yüksektir. Cürufllu çimentolar genellikle sıcak havalarda kullanılmalıdır. Cürufllu çimentoyla yapılan beton daha geçirimsiz olup, bu sebeple don olaylarına karşı dayanıklılığı yüksektir.

4.2 Silis Dumanı

200 °C'deki elektrik ark fırınlarında, silisyum metali ve ferrosilisyum alaşımlarının üretimi esnasında, yüksek oranda saflık içeren kuvarsitin kömür ve odun parçacıkları ile indirgenmesi sonucu meydana gelen puzolonik malzemeye "Silis Dumanı" adı verilmektedir. Bu olay sonrasında açığa çıkan SiO gazı, fırınların üst bölümünde hava ile etkileşime girerek okside olur ve hızla soğuyarak amorf silis haline gelir. Bu amorf yapı, silis dumanı bileşiminin büyük kısmını oluşturmaktadır [39]. Silis dumanının ana bileşeni 1 µm'den küçük silis partikülleridir [40]. Silis

dumanı bünyesinde yüksek miktarda SiO₂ barındırmaktadır. Bu sebeple yüksek fırın cürufu gibi puzolanik madde olma özelliği taşımaktadır. Diğer bir özelliği ise beton içerisindeki boşlukları doldurmasıdır.

Silis dumanı diğer puzolanik malzemelere (yüksek fırın cürufu, uçucu kül vb.) oranla, çimento ile suyun karıştırılması sonucu ortaya çıkan kalsiyum hidroksitle (Ca(OH)₂) hızlı bir şekilde ve daha erken tepkimeye girmektedir. Böylece betonun dayanım kazanma sürecini de hızlandırmaktadır.

Silis dumanı çok ince taneli olduğu için terlemeyi azaltmaktadır. Ayrıca hidrasyon ısısını da azalttığı görülmüştür [41]. Silis dumanı kullanılan betonlarda yüksek basınç dayanımı elde edilmiştir. Olumsuz özelliği ise karışım suyu ihtiyacının yüksek olmasıdır. Bu durumu çözmek için beton üretimi esnasında su azaltıcı katkı ya da süper akışkanlaştırıcı eklenmesi gerekebilir.

4.3 Doğal Puzolan

Doğadan kolaylıkla elde edilen malzemelerdir. Volkanik kökenlidirler. Bünyelerinde silis ve alumina barındırırlar. Yüksek sıcaklıkta bir sıvı olan erimiş ve yarı erimiş kayalardan oluşan magma tabakasının püskürmesi ile doğal puzolanlar oluşmaktadır. Bunları örneklendirmek gerekirse volkanik tüfler, volkanik camlar, volkanik küller ve trasları söyleyebiliriz [42].

Doğal puzolan malzemelerin ince öğütülmeleri durumunda puzolanik özellikleri oldukça güçlü olmaktadır.

En önemli doğal puzolan yatakları Almanya'da Ren bölgesinde, Yunanistan'da Santorin adasında, İtalya'da Napoli şehrinde, Libya'nın Trablus kenti civarında ve Türkiye'de Nevşehir ile Kayseri şehirlerinde bulunmaktadır [43].

4.4 Doğal Kalsine Edilmiş Puzolan

Isıl işleminden geçmiş killer, şeyller ve diatomitler doğal kalsine edilmiş puzolan sınıfına girmektedir. Isıl işlem gördükleri için puzolanik özellik

kazanmışlardır. Killer ve killi zeminler alumina silikat içeren kil minerallerinden oluşmaktadır. Şeyller de bünyelerinde killer gibi aynı bileşenleri bulundurlar. Fakat suyu killere oranla daha az içerikte bulundurlar.

Killer ve şeyhler 700 °C ile 900 °C arasında ısı işlem gördükleri zaman puzolanik özellik gösterirler. Nedeni bu maddelerin kristal yapısının bozulup yarı amorf şekle dönüşmelerinden dolayıdır [44].

Diatomitler, su bitkisi olan diatomların kalıntılarıdır. Organik olan bu kalıntılar bazı topraklarda %94 oranında silis içerirler. Bu durumda puzolanik özellik kazanmalarına yol açmaktadır. Bünyelerinde yüksek miktarda kil mineralleri bulunduğu için 760 °C ile 1000 °C arasında ısı işlem uygulanarak puzolanikliği artırılmış olur [44].

4.5 Pişmiş Şist

Şist, kolay bir şekilde ince parçalara ayrılabilen kayaç türüdür. Şistler kilitaşlarının başkalaşım geçirmesiyle oluşmaktadır. Pişmiş şistler ise tercihen yağlı olan şistlerin fırınlarda yaklaşık 800 °C'de ısı işlem uygulanmasıyla elde edilir. Isıtılan şistler puzolanik özellik göstermektedir. 28 günlük basınç altında dayanımları minimum 25 MPa olmalıdır [45].

4.6 Kalker

Kalker, tortul kayaç türüdür ve kirecin çökmesiyle meydana gelmektedir. Bu sebeple diğer bir adı da kireçtaşıdır. Kimyasal bileşiminde büyük bir yüzdeyi CaCO₃ almaktadır. Kalkerler toplam organik karbon değerlerine göre iki sınıfa ayrılmışlardır. TOC (Toplam Organik Karbon) değerinin en fazla %0,5 sınırında olan kalkerler “L” şeklinde, %0,2 sınırında olanlar ise “LL” şeklinde belirtilmiştir [46].

4.7 Uçucu Kül

Elektrik enerjisi hidroelektrik santrallerinden ve kömür ile çalışan termik santrallerden, bunlara ek özellikle son yıllarda ise doğalgaz santrallerinden elde edilmektedir. Termik santrallerinde daha az kalorili linyit kömürleri yakılmaktadır. Elektrik enerjisi üretimi esnasında toz haldeki bu kömürün yakılması neticesinde baca gazları ile sürüklenip, elektro filtreler ile tutulan çok küçük boyutlu kül tanecikleri oluşmaktadır. Uçabilen ve atık olarak değerlendirilen bu küllere “Uçucu Kül” denilmektedir [47]. Uçucu küller bir mineral katkı malzemesidir ve yapay puzolan sınıfına girmektedirler.

4.7.1 Uçucu Küllerin Fiziksel Özellikleri

Uçucu küller yuvarlak şekildedir ve çapları 1-200 μm arasındadır [48]. Renkleri genel olarak gridir. Rengini belirleyen, uçucu külün bileşimindeki karbonun yanma durumudur ve uçucu külün elde edildiği kömüre göre değişmektedir. Eğer bileşimindeki karbon tam olarak yanmazsa uçucu kül siyah rengini almaktadır. Karbon ne kadar iyi yanarsa rengi o derece açık şekilde olacaktır [49].

Uçucu küllerin yoğunlukları 2,2-2,7 g/cm^3 arasında değişmektedir. Özgül yüzey alanları 2800-3800 cm^2/g civarındadır. Tane boyutları çimento inceliğindedir. Bu yüzden tekrardan öğütülmesine gerek yoktur [49,50,51].

4.7.2 Uçucu Küllerin Kimyasal Özellikleri

Uçucu küllerin bileşiminde SiO_2 (Silisyum), Al_2O_3 (Alüminyum), CaO (Kalsiyum) ve Fe_2O_3 (Demir) bulunmaktadır. Bunlara ek olarak az miktarda MgO (Magnezyum) ve SO_3 (Sülfür) elementleri de bulunmaktadır [52].

ASTM C 618 standardına göre uçucu küller F ve C sınıfı olmak üzere iki çeşittir. Bu sınıflandırmayı belirlemede bünyelerinde bulundurdukları SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 miktarları etkili olmuştur. F sınıfı uçucu küllerin oluşumunda antrasit ve bitümlü kömürün yanması etkilidir. C sınıfı uçucu küller ise linyit kömürünün

yanması sonucu elde edilmektedir. Linyit kömürü, bitümlü ve antrasit kömüre oranla daha fazla kalsiyum içermektedir. Bu durum bağlayıcılık farkını doğurmuştur. Yani F sınıfı uçucu küller suyla karıştırıldıklarında bağlayıcılık özelliği çok düşüktür. C sınıfı uçucu küller ise bağlayıcılık özelliğine sahiptirler [52].

F sınıfı uçucu küllerin bünyesindeki SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 toplam oranı %70'den fazladır ve CaO oranı %10'dan düşüktür. Bu küller puzolanik özelliğe sahiptirler. C sınıfı uçucu küllerin bünyesinde bulundurdukları SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 toplam oranı %50'den ve CaO oranı da %10'dan fazladır [53]. Bu yüzden C sınıfı uçucu küller hem bağlayıcılık özelliğine hem de puzolanik özelliğe sahiptirler.

F sınıfı uçucu küllerdeki camsı faz miktarı C sınıfındakilere oranla daha fazladır. Ayrıca F sınıfı uçucu küllerde CaO yüzdesi daha az olduğu için “düşük kireçli uçucu kül” olarak da adlandırılır. C sınıfı uçucu küllerde CaO yüzdesine göre “yüksek kireçli uçucu kül” şeklinde de adlandırılırlar [54].

Uçucu küllerin kimyasal özellikleri TS EN 450 standardında belirtilmiştir. Bu standarda göre uçucu küllerde kütlece %0,1 oranından az Cl- (Klorür), %5 oranından az MgO (Magnezyum Oksit), %3 oranından az SO_3 (Kükürt Trioksit), %1 oranından az CaO (Kalsiyum Oksit) olmalıdır [55].

Kızdırma kaybı değeri, yanmamış karbon birikintilerini belli bir seviyede tutmak için belirlenen değere denmektedir. Bu değer 1 saat içinde %5 oranını geçmemelidir. Eğer kızdırma kaybı değeri %5-7 arasında olursa uçucu küller çimento ile birlikte kullanılabilir.

4.7.3 Uçucu Küllerin Sınıflandırılması

Uçucu küllerin sınıflandırılması iki standart göz önüne alınarak yapılmıştır. Bunlar; ASTM C 618 ve TS EN 197-1 standartlarıdır [30,53].

TS EN 197-1 standardına göre çimento ile birlikte kullanılacak uçucu küller silisi ve kalkerli olmak üzere iki çeşittir.

Silissi uçucu küller (v) :

Silissi uçucu küllerin bileşimindeki Al_2O_3 (Alüminyum Oksit) ve SiO_2 (Reaktif Silisyum Oksit) oranları fazladır. Bu elementlerin yanında bünyesinde Fe_2O_3 (Demir Oksit) ve diğer bileşimleri bulundurmaktadır. Bu küller yapay puzolanik madde olma özelliği gösterirler.

Uçucu küllerde bulunan reaktif kireç ve reaktif silis, kalsiyum ve silisyum oksitleri temsil etmektedir. Reaktif silis miktarı uçucu küllerde en az %25 olmalıdır. Reaktif kireç miktarı ise; yüksek kireçli uçucu küllerde %10-15 arasında, düşük kireçli uçucu küllerde %10'un altında olması gerekmektedir.

Silissi uçucu küllerde ise reaktif silis miktarı %25'in üstündedir. Reaktif kireç miktarı ise %10'dan daha az, %2,5'dan da fazla olması beklenir.

Kalkersi uçucu küller (w) :

Kalkersi uçucu küllerin bileşimindeki Al_2O_3 (Alüminyum Oksit), SiO_2 (Reaktif Silisyum Oksit) ve CaO (Reaktif Kalsiyum Oksit) oranları fazladır. Bu elementlerin yanında bünyesinde Fe_2O_3 (Demir Oksit) ve diğer bileşimleri bulundurmaktadır. Bu küller yapay puzolanik madde olma özelliği ve bağlayıcılık özelliği gösterirler.

Kalkersi uçucu küllerde, reaktif silis miktarı tüm uçucu küllerde olduğu gibi %25'in üzerindedir. Reaktif kireç (CaO) miktarının ise %10'dan fazla, %15'den az olması beklenir. Eğer reaktif kireç miktarı %15'den fazla ise bu küller koşullu olarak kullanırlar.

ASTM C 618 standardına göre uçucu küller F ve C sınıfı olmak üzere iki çeşittir. Bu konuya, bir önceki kısım olan uçucu küllerin kimyasal özelliklerinde yer verilmiştir.

Ayrıca uçucu küller aktivitelerine göre de sınıflandırılmıştır. Bu aktivite uçucu külde bulunan CaO oranına bağlıdır. Uçucu küller aktivitesine göre 4 çeşittir. Bunlardan CaO oranı %3,5'dan az olanlara "Çok Düşük Aktiviteli Uçucu Kül" denilmektedir. CaO oranının %3,5-7 arasında olması durumunda "Düşük Aktiviteli

Uçucu Kül” adını almıştır. Bu oran %7-14 arasında ise “Aktif Uçucu Kül”, %14’den fazla olanlara ise “Çok Aktif Uçucu Kül” denilmektedir [56].

4.7.4 Uçucu Küllerin Kullanım Alanları ve Miktarları

Uçucu küller, termik santrallerde büyük ölçüde atık madde olarak oluşmaktadırlar. Bu atık madde miktarını en aza indirmek için çeşitli sektörlerde kullanılmaktadır. Büyük çoğunluğunu inşaat sektörü kapsamaktadır. Özellikle dünyada çimento veya beton içerisine katılarak köprü ayaklarının yapımında, baraj duvarlarında, geoteknik uygulamalarda dolgu yapımında ve zemin stabilizasyonunun sağlanmasında kullanılırlar [49].

Uçucu küller agrega olarak köprü yolu, otoyol ve briket yapımında ayrıca yol drenaj kanallarında kullanım alanı bulmuştur. Ayrıca kerpiç yapımında, tuğla, gazbeton, yalıtım malzemeleri, cam gibi yapı malzemesi üretiminde kullanılırlar. Örneğin; 100 yıllık kullanım için tasarlanan, İngiltere ve Fransa’yı birbirine bağlayan hızlı tren hattındaki tünel inşaatında uçucu kül kullanılmıştır [57]. Ayrıca Fransa’da Puylaurent barajında ve İtalya’da elektrik direkleri yapımında yine uçucu kül kullanılmıştır.

Türkiye’de ise uçucu kül inşaat sektöründe kullanılmaktadır. Baraj yapılarında, çimento ve beton katkı malzemesi olarak ayrıca agrega olarak kullanım alanı bulmuştur [54].

Türkiye’de 1993 yılı istatistiklerine göre 13,5 milyon ton ve 1998 yılı istatistiklerine göre 13 milyon ton uçucu kül açığa çıkmıştır. Dünya oranlarına baktığımızda ABD’de yaklaşık 45 milyon ton, Hindistan’da 50 milyon ton civarındadır [58].

4.7.5 Uçucu Külün Beton Özelliklerine Etkisi

Çimentoda katkı maddesi olarak uçucu kül kullanıldığında maliyeti az olan çimentolar üretilmekte ve enerji tasarrufu sağlanmaktadır. Uçucu külün tane boyutu

çok küçük olduğu için çimento içerisinde öğütülmeden kullanılabilir. Çimento içerisinde kullanılmasının en büyük avantajı suya olan ihtiyacı azaltmasıdır. Böylece rötre çatlakları en aza indirilip yüksek dayanımlı betonlar üretilmiş olunur. Harç karışımları içerisinde uçucu kül kullanılmasının betona olan etkisi aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

4.7.5.1 İşlenebilirlik ve Terleme

Beton yapımında suyu azaltıp, işlenebilirliği sabit tutmak oldukça önemlidir. Bu yüzden uçucu küllerin beton için işlenebilirliğe katkısı oldukça fazladır [59]. Uçucu küllerin ileşimindeki CaO miktarına göre de işlenebilirlik farklılık göstermektedir. Diamond ve Olek [60], C ve F sınıfı uçucu küllerle yaptıkları çalışmada, basit yer değiştirme yöntemiyle betona katılan C ve F sınıfı uçucu külün işlenebilirliği artırdığını ifade etmişlerdir. Fakat C sınıfı uçucu külün içerisindeki CaO miktarı daha fazla olduğu için, F sınıfı uçucu küle göre işlenebilirliğe katkısının daha fazla olduğunu gözlemlemişlerdir.

Betonların su ihtiyacı, uçucu küllerin tane boyutlarının inceliğine göre farklılık göstermektedir. Uçucu küllerin inceliğinin artması su ihtiyacını artırmaktadır. Fakat genellikle küresel şekilde olan uçucu küller betonda daha az su ihtiyacına neden olur. Bu konuyla ilgili olarak Schießl ve Hårdtl'ın yapmış olduğu deneysel çalışmalarda, uçucu küllerin tane boyutunun çok ince olmasının betonun işlenebilirliğinin artmasına olumlu katkı sağladığını göstermişlerdir [61].

Terleme, taze beton içerisindeki suyun kılcal damarlardan yükselerek ayrılmasına verilen isimdir. Terlemeyi oluşturan ana neden segregasyon olayıdır. Segregasyon ise beton içerisinde bulunan çimento, agrega ve suyun çeşitli nedenlerden dolayı birbirinden ayrılması olarak tanımlanmaktadır. Uçucu kül tanelerinin ince bir yapıya sahip olmasından dolayı betondaki bu segregasyonu azaltacağı düşünülmektedir [62]. Dolayısıyla bu sayede terleme olayı da azalacaktır.

Yukarıda bahsi geçen araştırmacıların yaptığı çalışmalar neticesinde, uçucu kül taneciklerinin inceliğinin, işlenebilirlik ve terleme olaylarını önemli ölçüde değiştiren bir etken olduğunu söyleyebiliriz.

4.7.5.2 Priz Süresi

Uçucu küller betonun priz süresini artırmaktadır. Yüksek CaO içeren C tipi uçucu küllerin bağlayıcılık özelliği olduğu için F tipi uçucu küllere göre daha kısa zamanda priz almaktadırlar [63].

Lane ve Best, priz süresinde genel olarak ortam sıcaklığı, hamurun su içeriği ve çimentonun ince taneli olmasının etkili olduğunu fakat betonda uçucu kül kullanımının priz süresini geciktirici etki yarattığını bildirmişlerdir [62].

Sivasundaram, Carette ve Malhotra, uçucu kül bulunan ve referans olması açısından uçucu kül bulunmayan iki farklı tür beton üretmişlerdir. Çalışmalar neticesinde, uçucu kül bulunan betonun priz süresinde, kontrol betonunun priz süresine göre 3 saat artış olduğunu gözlemlemişlerdir. Bunun sebebini, çimento miktarının düşük, uçucu kül miktarının yüksek oranda tutulması olarak açıklamışlardır [64].

4.7.5.3 Hidratasyon

Hidratasyon ısısı, priz ve sertleşme sırasında açığa çıkan ısıdır. Beton karışımında çimento miktarı azaltılıp yerine uçucu kül eklediğimiz takdirde hidratasyon ısısında azalma meydana gelmektedir. Uçucu külün beton karışımı içinde kullanılmasının en önemli avantajlarından birisi de budur.

Beton karışımında F sınıfı düşük CaO (kalsiyum) içeren uçucu küllerin kullanılması, hidratasyon ısısının düşürülmesinde daha etkili olmaktadır. Barrow, Carrasquillo ve Hadchiti beton üretimi esnasında hem C sınıfı hem F sınıfı uçucu kül kullanmışlardır. C sınıfı uçucu küllerle yapılan betonlarda sadece sıcaklık artışının yavaşladığı görülmüştür. F sınıfı uçucu küller ise sıcaklık artışını yavaşlatması yanında hidratasyon ısısını da düşürmüştür [65].

Araştırmalar ve çalışmalar neticesinde, uçucu külün hidratasyon ısısını düşürdüğünü söylemek mümkündür. Bu durum uçucu külün kullanımının artmasına neden olan en önemli sebeplerin başında gelmektedir.

4.7.5.4 Su Geçirirnililiği

Beton içerisinde ince taneli mineral katkıların kullanılması betonda terlemeyi azaltmakta buna bağlı olarak betonun boşluksuz bir yapıda olması sağlanmaktadır. Uçucu kül bu özelliğinden dolayı katıldığı imento harcındaki boşluk yapısını değiştirmektedir. Boşluksuz betonun avantajlarından birisi yüksek dayanıma sahip olmasıdır. Diğer bir avantajı ise geçirimsizdir. Bu yüzden uçucu külle hazırlanan betonun su geirirnililiği, katkı kullanılmayan betona nazaran daha azdır.

Sarıimen, Maslehuddin, Al-Tayyib ve Al-Mana, F sınıfı uçucu küllerle basit ikame metoduyla beton üretmişlerdir. Kr koşulları farklı olan betonların, 7 günlük deney sonucuna göre suya karşı olan geirirnililik değerlerinin, kontrol numunesine göre azaldığı gözlemlenmiştir. Bunun sebebi olarak, çimentonun hidratasyon reaksiyonu sonucunda açığa çıkan kirecin, uçucu küller tarafından tutularak içerik olarak yoğun şekilde olan beton üretildiğini belirtmişlerdir [66].

Dunstan ve arkadaşları, betonda %5-25 oranlarında uçucu kül kullanmışlardır. Bunun sonucu olarak, orta ve düşük geirirnililik sağlayan betonlar retilenileceğini ifade etmişlerdir [67].

4.7.5.5 Rtre

Rtre, taze veya prizini henüz almamış betonun su kaybetmesinden kaynaklı ya da ortam ile sıcaklık farkından dolayı büzülmesi ve bunların sonucunda betonda çatlak meydana getirmesi olayıdır. Rtre, beton içerisindeki imento ve agrega yüzdeleri ile su-imento oranına bağlıdır. Beton içerisindeki imento yüzdesinin azalması ve su-imento oranının düşük olması rötre olayını azaltmaktadır [68].

Beton içerisine imento miktarı azaltılarak uçucu kül konulduğu takdirde, uçucu kül suya olan ihtiyaı azaltacağından betonda rötre olayı çok düşük seviyede olacaktır.

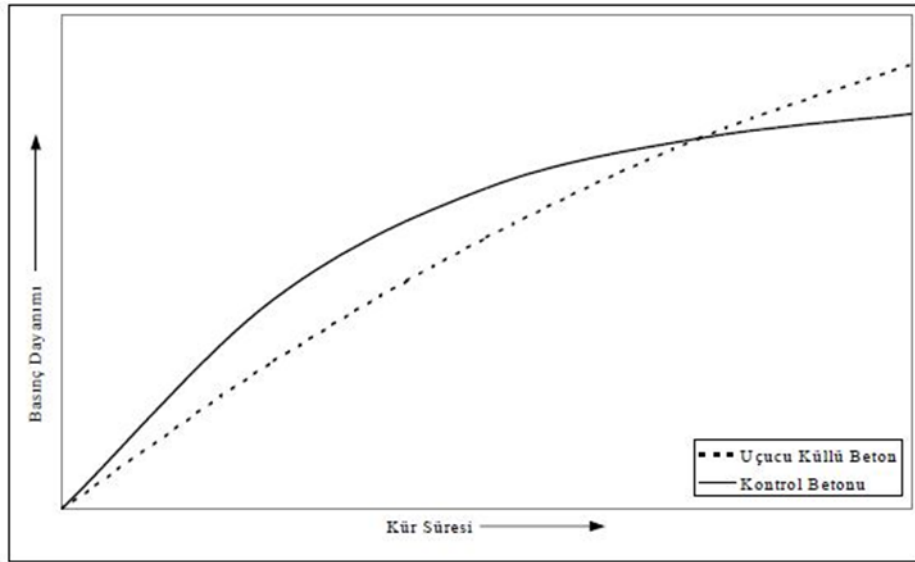
Aimin, yaptığı deneylerde betonda uçucu kül kullanılmasının rtreyi azalttığı sonucuna varmıştır [67]. Atış, betonda F sınıfı uçucu külü, çimentoyla %10-40

oranlarında yer değiştirerek deneysel çalışmalar yapmıştır. Bu alışmalar sonucunda, betonda %30-40 oranlarında kullanılan uçucu külün rötre olayını azalttığını gözlemlemiştir [69].

4.7.5.6 Basınç ve Eğilmede ekme Dayanımı

Araştırmacılar, beton karışımına uçucu kül katılmasıyla o betonun dayanım kazanma hızının, katkısız betona oranla daha yavaş olduğunu gözlemlemişlerdir. Ancak uçucu küllü betonların, gün geçtikçe dayanım değerinin nerdeyse referans betonunun değerine ulaştığı, hatta geçtiği kanısına varmışlardır. Bu konuyla ilgili Şekil 4.2’de olduğu gibi bir basınç dayanımı-zaman grafiği çizilmiştir [66].

C ve F sınıfı uçucu küllerin beton dayanımına etkisi farklıdır. Örneğin C sınıfı uçucu küller daha çabuk dayanım kazanmakta, ayrıca F sınıfı uçucu küllere göre son yakalanılan dayanım değerleri daha yüksek olmaktadır. Beton dayanımı göz önüne alındığında, C sınıfı uçucu küllerin kullanımı tercih edilmelidir. Nedeni ise C sınıfı uçucu küllerin içerdiği CaO miktarının fazlalığı ve ince tane boyutuna sahip olmasıdır. [60,65].



Şekil 4.2: Uçucu kll betonlar ve kontrol betonları için basınç dayanımı-zaman grafiği [66].

Gökçe ve arkadaşları, beton karışımında uçucu külü %10-20 arasında çimentoyla ikame ederek kullanmışlardır. Deneylemlerin sonucuna göre, basınç ve eğilmede çekme dayanımlarının benzer değerlerde olduğu ve dayanımı olumlu yönde etkilediğini gözlemlemişlerdir [70].

Galeota ve arkadaşları, beton karışımında %18 ve %25 oranlarında F sınıfı uçucu kül kullanmışlardır. Referans betonuna kıyasla 30, 60 ve 90. günde daha yüksek mukavemet değerleri elde etmişlerdir [71].

Uçucu kül kullanılarak yapılan betonlarda sıcaklık artışının beton dayanımına etkisinin olumlu sonuçlar doğurduğu tespit edilmiştir. Bundan dolayı kütle betonlarda örneğin barajlar gibi veya yüksek sıcaklığın olduğu ortamlardaki betonlarda bu durumun faydası olduğu söylenebilir [71].

Atiş ve arkadaşları, uçucu külü ağırlıkça, çimentoyla %10-20 oranlarında yer değiştirerek beton üretmişlerdir. Uçucu küllü betonların, 28 günlük basınç ve eğilmede çekme dayanım değerlerine bakıldığında, kontrol betonlarının dayanım değerlerine yakın veya yüksek olduğunu tespit etmişlerdir [72].

Giaccio, Violini, Zappitelli ve Zerbino, iki tür F sınıfı uçucu külü ağırlıkça, %20 ve %30 oranlarında çimento ile yer değiştirerek, su/bağlayıcı madde oranı 0,55 ve 0,40 olan betonlar üretmişlerdir. Yapılan çalışmalar sonucunda, uçucu kütle üretilen betonların erken yaşlardaki dayanım değerlerinde azalmalar olduğunu bildirmişlerdir. %20 oranında uçucu kül bulunan betonların, ileriki yaşlardaki dayanımlarında artış olduğu, hatta kontrol betonunun basınç dayanımından daha fazla dayanım değerine sahip olduğunu gözlemlemişlerdir. İki tür F sınıfı uçucu külden, tane boyutu daha küçük olanının basınç dayanımının, diğer uçucu küllü betonlara oranla fazla geldiğini tespit etmişlerdir [73].

Mehta ve Gjørsv, F sınıfı uçucu külü ağırlıkça %30 oranında çimentoyla yer değiştirerek betonlar üretmişlerdir. Bu betonların 7 ve 28 günlük dayanım değerlerinin düşük olduğu, 90. gündeki dayanımının ise kontrol betonunun dayanım değerini yakaladığı sonucuna varmışlardır [74].

5. MATERYAL VE METOD

5.1 Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri

5.1.1 Çimento

Bu çalışmada, Limak Balıkesir Çimento San. ve Tic. A.Ş. tarafından üretilen portland çimentosu kullanılmıştır. Kullanılan çimento, CEM I 42,5 R' dir. Bu çimentonun fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 5.1 ve Tablo 5.2'de verilmiştir.

Tablo 5.1: Çimentonun fiziksel özellikleri.

Yoğunluk	(g/cm ³)	3,07
Özgül Yüzey	(cm ² /g)	3520
2 Günlük Basınç Dayanımı	(MPa)	24,2
7 Günlük Basınç Dayanımı	(MPa)	40,8
28 Günlük Basınç Dayanımı	(MPa)	52,3
Priz Başlangıcı	(dakika)	216
Priz Sonu	(dakika)	294
Hacim Genişlemesi (Le Chatelier)	(mm)	1
45 µ bakiye	(%)	7,7

Tablo 5.2: Çimentonun kimyasal bileşimi.

	%
SiO ₂	19,10
Al ₂ O ₃	5,10
Fe ₂ O ₃	3,16
CaO	63,45
MgO	1,04
SO ₃	2,73
K ₂ O	0,81
Na ₂ O	0,16
Klorür (Cl-)	0,014
C ₃ S	62,49
C ₂ S	7,64
C ₃ A	8,18
C ₄ AF	9,60
Kızdırma Kaybı	4,40
Çözünmeyen Kalıntı	0,59

5.1.2 Uçucu Kül

Uçucu kül, Tunçbilek Termik Santrali'nden temin edilmiştir. Kullanılan uçucu külün tanecik yoğunluğu 2260 kg/m^3 'dür. $45 \text{ }\mu\text{m}$ elek üstünde kalan uçucu kül oranı %20'dir. Alınan uçucu külün kimyasal özellikleri Tablo 5.3'de gösterilmiştir.

Tablo 5.3: Uçucu külün kimyasal bileşimi.

	%
SiO ₂	59,84
Al ₂ O ₃	20,86
Fe ₂ O ₃	8,86
S + A + F	89,56
CaO	2,67
SO ₃	0,63
Alkaliler Na ₂ O eş.	3,03
Cl ⁻	0,005
Kızdırma Kaybı	1,34
Serbest CaO	0,016

TS EN 450-1 standardına göre S+A+F oranının %70'den fazla olması kullanılan uçucu külün, F sınıfı uçucu kül olduğunu göstermektedir [75]. ASTM C 618 standardına göre CaO miktarının da %10'dan düşük olması düşük kireçli olduğunu göstermektedir [53].

5.1.3 İnce Agraga (Kuvars)

Bu çalışmada kullanılan agregalar İzmir'de bulunan Aydınlar Madencilik İnş. San. ve Tic. Ltd. Şti. tesisinden temin edilmiştir. 0-0,8 mm ve 0,8-2 mm tane boyutunda olan iki ayrı çeşit kuvars kumu kullanılmış ve Şekil 5.1'de gösterilmiştir.



(a)

(b)

Şekil 5.1: 0,8-2 mm kuvars kumu (a) ve 0-0,8 mm kuvars kumu (b).

Bu agregaların kimyasal özellikleri Tablo 5.4’de ve elek analizi sonuçları Tablo 5.5 ve Tablo 5.6’da gösterilmiştir.

Tablo 5.4: Agregaların kimyasal özellikleri.

	%
SiO ₂	98,81
Al ₂ O ₃	0,1
Fe ₂ O ₃	0,26
CaO	0,33
MgO	0,06
K ₂ O	0,015
Na ₂ O	0,033
SO ₃	0,015
Cl	0,023
Cr ₂ O ₃	0,056
Kızdırma Kaybı	0,303

Tablo 5.5: 0,8-2 mm boyutlarındaki kuvars kumu elek analizi.

ELEK NO	Her Elekte Kalan (g)	Her Elekte Kalan (%)	Kabül Edilen Sonuçlar
2,5 mm	0	0,00	0
2 mm	74	7,40	0-10
1,5 mm	350	35,00	10-40
1 mm	358	35,80	20-40
0,716 mm	218	21,80	10-30

Tablo 5.6: 0-0,8 mm boyutlarındaki kuvars kumu elek analizi.

ELEK NO	Her Elekte Kalan (g)	Her Elekte Kalan (%)	Kabül Edilen Sonuçlar
0,80 mm	0	0,00	0-5
0,50 mm	264	26,40	20-40
0,25 mm	518	51,80	35-70
0,90 mm	198	19,80	10-30
TAVA	20	2,00	0-8

5.1.4 Öğütülmüş Kablo Atıkları

Balıkesir il sınırları içerisinde bulunan Öznak Geri Dönüşüm Ltd. Şti. firmasından atık malzeme temini yapılmıştır. Bu atıklar Şekil 5.2’de görüldüğü gibi öğütülmüş halde olan, boyutları 0-2 mm arasında değişen, içerisinde bakır tel bulunan, günlük hayatta kullandığımız kablolardır. Öğütülmüş kablo atıklarının elek analizi sonuçları Tablo 5.7’de gösterilmiştir. Bu kablo atıkları beton içerisinde ikame yöntemiyle agrega olarak kullanılmıştır.



Şekil 5.2: Öğütülmüş kablo atığı.

Tablo 5.7: Ögütülmüş kablo atığı elek analizi.

ELEK NO	Her Elekte Kalan (g)	Her Elekte Kalan (%)
4 mm	1,6	0,16
2 mm	522,9	52,29
1 mm	317,6	31,76
0,50 mm	67,9	6,79
0,25 mm	88	8,8
0,125 mm	2	0,2

5.1.5 Karışım Suyu

Bu çalışmada kullanılan karışım suyu, Balıkesir Üniversitesi şebeke suyundan elde edilen çeşme suyudur.

5.2 Harç Karışım Oranları

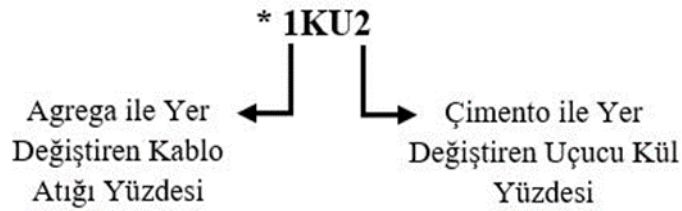
Yapılan deneylerde 0-0,8 mm ve 0,8-2 mm boyutlarında kuvars kumu ile eşit miktarlarda karıştırılan bu iki kuma ağırlıkça %10, %20 ve %30 oranlarında, yaklaşık 0-2 mm boyutlarında ögütülmüş kablo atığının yer değiştirilmesiyle dört farklı çeşit agrega karışımı elde edilmiştir. Mineral katkı olarak ise uçucu külün ağırlıkça %10, %20 ve %30 oranlarında çimentoyla yer değiştirilmesiyle dört farklı çeşit bağlayıcı elde edilmiştir.

Çalışmada, TS EN 196-1 standardına uygun olarak su-bağlayıcı oranı 0,50, bağlayıcı-agrega arasında 1'e 3 oran alınarak harç numuneleri üretilmiştir.

Bu karışım oranlarına sahip toplamda 16 harç karışımı elde edilmiştir. Fakat oranlar sabit tutularak hem küp hem prizmatik numuneler için 32 harç karışımı hazırlanmıştır. Bu karışım değerleri Tablo 5.8'de verilmiştir.

Tablo 5.8: Harç karışım oranları.

	Agrega 1 (0-0,8 mm)	Agrega 2 (0,8-2 mm)	Kablo Atığı	Çimento	Uçucu Kül	Su
	g	g	g	g	g	g
KU	675	675	0	450	0	225
KU1	675	675	0	405	45	225
KU2	675	675	0	360	90	225
KU3	675	675	0	315	135	225
1KU	607,5	607,5	135	450	0	225
1KU1	607,5	607,5	135	405	45	225
*1KU2	607,5	607,5	135	360	90	225
1KU3	607,5	607,5	135	315	135	225
2KU	540	540	270	450	0	225
2KU1	540	540	270	405	45	225
2KU2	540	540	270	360	90	225
2KU3	540	540	270	315	135	225
3KU	472,5	472,5	405	450	0	225
3KU1	472,5	472,5	405	405	45	225
3KU2	472,5	472,5	405	360	90	225
3KU3	472,5	472,5	405	315	135	225



5.3 Numunelerin Üretimi ve Kürü

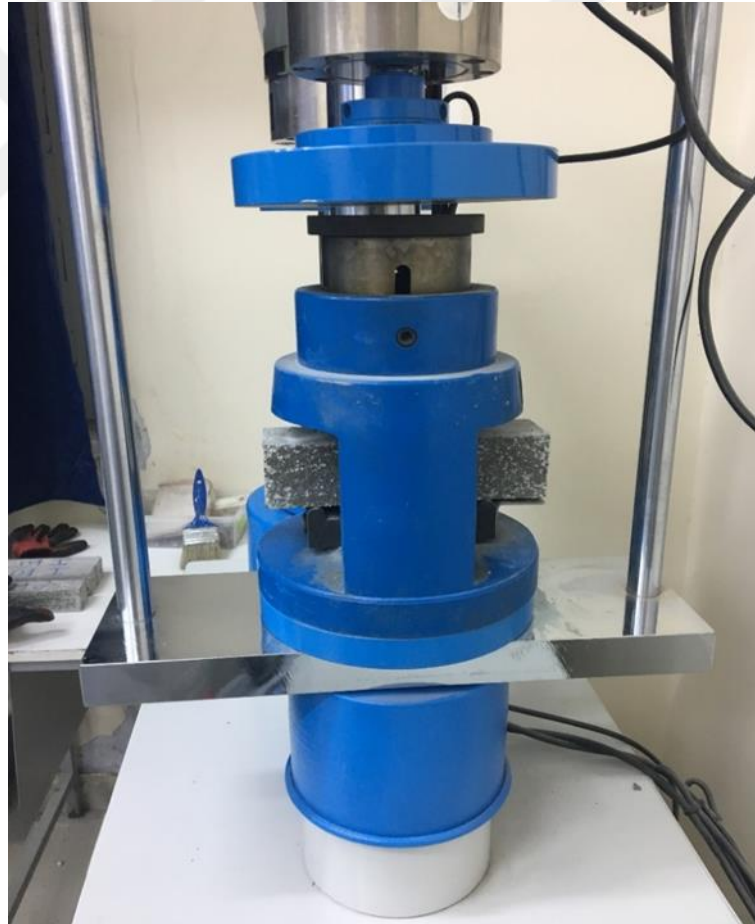
Tablo 5.8’de verilen toplam 16 adet karışım iki farklı şekilde değerlendirilmiştir. Deneilerde 4x4x16 cm boyutlarında prizmatik kalıplar ve 5x5 cm boyutlarında küp kalıplar kullanılmıştır. Hazırlanan harç karışımları kalıplara dökülerek, sertleşmesi için 20 °C ± 1 °C sıcaklıkta, 24 saat boyunca kür odasında bekletilmiştir. 24 saat sonunda kalıplardan çıkarılan numuneler 22 ± 2 °C sıcaklıktaki kür havuzuna konulmuştur. Kür havuzunda küp numuneler 28 gün, prizmatik numuneler 2, 7, 28, 56 ve 90 günlük deney günleri gelene kadar bekletilmiştir.

5.4 Numuneler Üzerinde Yapılan Deneyler

5.4.1 Eğilmede Çekme Dayanımı Deneyi

Kür havuzunda bekletilen prizmatik numuneler 2, 7, 28, 56 ve 90 günlük zaman aralıklarında eğilme deneyine tabi tutulmuşlardır.

Eğilmede çekme dayanımı deneylerinde, prizmatik numunenin alt kısmına çekme gerilmesi gelmektedir. Numunelere eğilme yükü uygulanarak, eğilmede çekme dayanımı değerleri bulunmaktadır [76]. Kullanılan deney düzeneği Şekil 5.3'de verilmiştir. Prizmatik numunelere uygulanan bu deney bize eğilmede çekme dayanımı değerlerini vermektedir.



Şekil 5.3: Eğilmede çekme dayanımı deney düzeneği.

5.4.2 Basınç Dayanımı Deneyi

Kür havuzunda bekletilen prizmatik numuneler 2, 7, 28, 56 ve 90 günlük zaman aralıklarında basınç deneyine tabi tutulmuşlardır. Eğilmede çekme dayanımında kullanılan prizmatik numunelerin yaklaşık olarak ortalarından kırılmaları sonucu oluşan yarım numuneler basınç dayanımı deneyine tabi tutulmuştur. Kullanılan deney düzeneği Şekil 5.4’de verilmiştir.

Basınç dayanımı; numuneye uygulanan kuvvetin, numunenin kesit alanına bölünmesiyle hesaplanmaktadır. Burada dikkat edilecek husus kırılan yarım prizmatik numunenin basınç dayanımı deneyinde 4x4x4 lük küp numuneye karşılık gelmesidir.



Şekil 5.4: Basınç dayanımı deney düzeneği.

5.4.3 Yüksek Sıcaklık Deneyi

Bu deneyde 28 gün boyunca kür havuzunda bekletilen küp numuneler kullanılmıştır. Deneyler Şekil 5.5’de gösterilen, 200 °C ve 400 °C’ye ayarlanan kül fırınında gerçekleştirilmiştir. Herbir karışımdaki küp numunelerden ikişer adet alınıp kül

fırını içine konulmuştur. Daha sonra fırın, yarım saat sıcaklık yükselmesiyle beraber toplamda 2,5 saat çalıştırılmıştır. Fırından çıkarılan numuneler soğumaya bırakılmıştır.

Bu deney farklı karışımların her birinden alınan ikişer adet numuneyle, toplamda 32 adet küp numune üzerinde gerçekleştirilmiştir. Yüksek sıcaklık deneyinden önce ve sonra ağırlık ölçümleri yapılmıştır. Bu sayede numunelerin yüzde olarak ağırlık kayıplarına ulaşılmıştır. En son küp numunelere basınç dayanım deneyi uygulanarak referans numunelerle aralarındaki farklar karşılaştırılmıştır.



Şekil 5.5: Yüksek sıcaklık deneyi kül fırını.

5.4.4 Su Emme Miktarının Tayini

Bu deney farklı karışımların her birinden alınan üçer adet küp numuneyle, toplamda 48 adet küp numune üzerinde gerçekleştirilmiştir. Küp numuneler 24 saat boyunca 22 ± 2 °C sıcaklıktaki kür havuzunda yeniden bekletilmiştir. Bu numunelerin suya konulmadan önce ağırlıkları ölçülmüştür. 24 saatin sonunda sudan çıkarılan numunelerin de doymuş yüzey ağırlığı ölçülmüştür. Bu sayede numunelerin

yüzde olarak ağırlıkça su emme oranlarına ulaşılmıştır. Bu oran (5.1) formülü ile bulunmaktadır.

$$m_1 = \frac{B - A}{A} \times 100\% \quad (5.1)$$

m_1 : Ağırlıkça su emme oranı (%)

A : Kuru numune ağırlığı (g)

B : Doygun yüzeyli kuru numune ağırlığı (g)

5.4.5 Donma-Çözülme Deneyi

Bu deney farklı karışımların her birinden alınan üçer adet küp numuneyle, toplamda 48 adet küp numune üzerinde gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.6'da gösterilen donma-çözülme deney aletine yerleştirilen numuneler -20 °C'de 4 saat boyunca donma işlemine, 20 °C'de 4 saat boyunca çözülme işlemine tabi tutulmuştur. Günde 3 set (donma-çözülme) gerçekleşen bu deney için 30 döngülük bir program ayarlanmıştır.

Donma-Çözülme deneyi öncesinde ve sonrasında küp numunelerin ağırlık ölçümleri yapılmıştır. Burada amaç numunelerin yüzde olarak ağırlık kayıplarına ulaşmaktır. Daha sonra bu numuneler basınç dayanım deneyine tabi tutulmuştur.



Şekil 5.6: Donma-çözülme deneyi test cihazı.

6. DENEY SONUÇLARI VE YORUMLARI

6.1 Eğilmede Çekme Dayanımı

Kür havuzunda bekletilen prizmatik numunelere 2, 7, 28, 56 ve 90 günlük zaman aralıklarında eğilmede çekme dayanımı deneyi uygulanarak eğilmede çekme dayanım değerleri elde edilmiştir. Bu deney neticesindeki sonuçlar Tablo 6.1’de verilmiştir.

Tablo 6.1: Eğilmede çekme dayanımı deney sonuçları (MPa).

	2 GÜNLÜK	7 GÜNLÜK	28 GÜNLÜK	56 GÜNLÜK	90 GÜNLÜK
KU	4,2	6,7	8,8	9,0	9,3
KU1	4,8	6,1	7,4	8,4	8,6
KU2	3,3	5,8	7,4	8,3	8,5
KU3	3,9	5,6	7,0	8,6	9,9
1KU	3,4	5,3	7,3	7,0	7,7
1KU1	3,3	5,1	6,6	6,7	8,1
1KU2	2,9	5,3	6,7	6,8	7,4
1KU3	3,2	4,7	6,2	7,5	7,0
2KU	3,7	5,0	5,7	6,6	7,1
2KU1	3,1	5,2	5,7	5,8	6,7
2KU2	2,4	4,4	5,2	6,0	6,3
2KU3	2,9	4,5	5,0	6,7	6,9
3KU	3,5	4,3	4,3	4,7	5,7
3KU1	2,3	4,0	4,7	5,3	5,0
3KU2	3,1	4,0	5,6	5,6	4,9
3KU3	1,9	3,3	4,9	5,2	5,8

Tablo 6.1’e bakıldığında 2 günlük eğilmede çekme dayanımı değeri yüksek gelen karışım, bağlayıcı olarak %10 oranında uçucu kül ve %90 oranında çimento ile iki farklı boyuttaki kuvars kumu içerisinde atık kablo bulunmayan KU1 karışımıdır. Değeri 4,8 MPa’dır. 7 ve 28 günlük deneylere bakıldığında sadece çimento ve kuvars kumunun bulunduğu karışımların eğilmede çekme dayanım değerlerinin yüksek geldiği gözükmemektedir. Bunlar KU kontrol karışımları olmakla beraber, 7 günlük eğilmede çekme dayanımı değeri 6,7 MPa, 28 günlük dayanım

değeri ise 8,8 MPa'dır. Bu 3 günlük zaman aralığında bize en yüksek dayanım değerlerini, atık maddenin bulunmadığı karışımlar vermiştir.

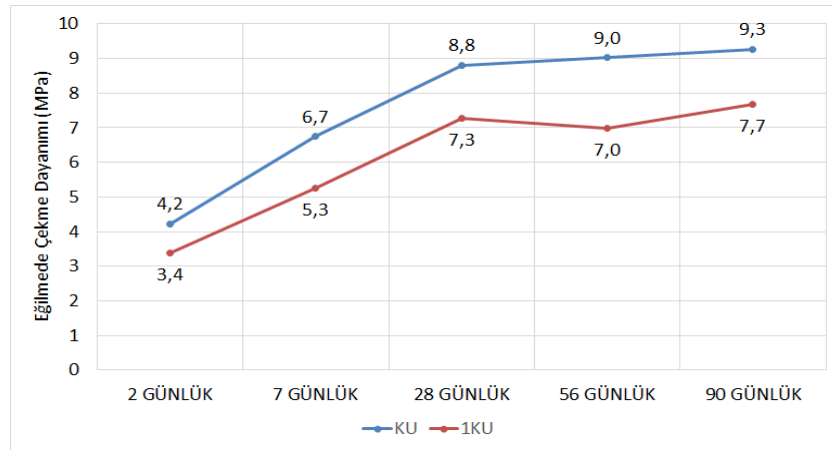
56. güne geldiğimizde yine hiç atık kablo bulunmayan ve sadece çimentodan oluşan karışım en yüksek dayanım değerini vermiştir. Bu eğilmede çekme dayanım değeri 9,0 MPa'dır. Fakat 56. gündeki deney sonuçlarına bakıldığında %30 oranında uçucu kül ile hiç atık kablo bulunmayan ve %10 oranında kablo atığı bulduran iki karışımın dayanım değerlerinde artış olduğu ve değerlerinin nerdeyse yüksek dayanıma sahip KU kontrol karışımına yaklaştığını söylemek mümkündür. Bunun sebebi olarak hiç atık kablo bulunmayan ve %10 oranında atık kablo bulunmasına rağmen, bu iki karışımda bulunan uçucu külün gün geçtikçe dayanıma olan arttırıcı etkisi olduğunu söyleyebiliriz.

Toplamda 16 karışımdan oluşan prizmatik numunelere bakıldığında %30 oranında atık kablonun agrega içerisinde bulunduğu 4 karışım diğer numunelere kıyasla en düşük eğilmede çekme dayanımı değerlerini vermiştir. 2 ve 7. günlerde en düşük eğilmede çekme dayanımı değerini veren 3KU3 karışımı olmuştur. 28. güne geldiğimizde, Şekil 6.1'de gösterilen 3KU3 karışımının eğilmede çekme dayanım değerinin düşük gelmesi beklenirken uçucu külün gün geçtikçe dayanıma olan etkisini görmek mümkündür. Çünkü %30 oranında atık kablo bulunan agreganın ve sadece çimentonun bağlayıcı olarak bulunduğu 3KU karışımının eğilmede çekme dayanım değeri diğer numunelerin eğilmede çekme dayanım değerlerine kıyasla düşük gelmiştir. Bu durum 56. gün içinde geçerlidir.



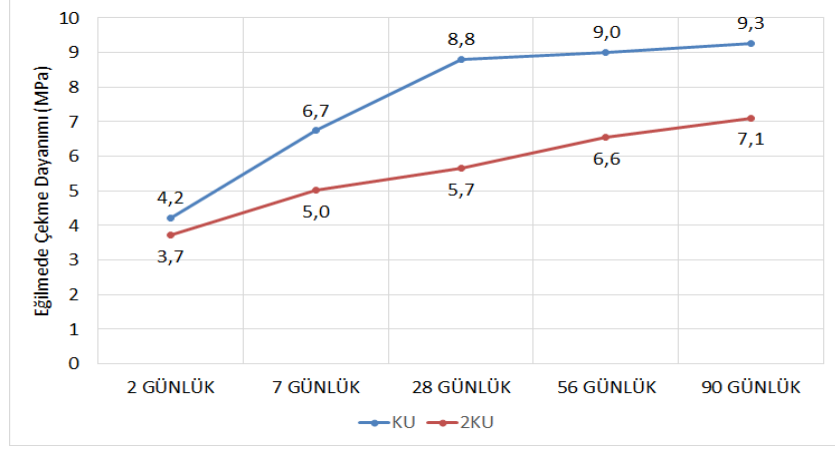
Şekil 6.1: Eğilmede çekme dayanımı sonrası 3KU3 numuneleri.

Uçucu kül bulunmayan numuneler ile %10, %20 ve %30 oranlarında uçucu kül bulunan numunelerin, atık kablo miktarına göre eğilmede çekme dayanımlarının karşılaştırılması yapıp, Şekil 6.2, Şekil 6.3, Şekil 6.4 ve Şekil 6.5’de verilmiştir. Ayrıca atık kablo bulunmayan numuneler ile %10, %20 ve %30 oranlarında atık kablo bulunan numunelerin de, uçucu kül miktarına göre eğilmede çekme dayanımlarının karşılaştırılması yapıp, Şekil 6.6’da verilmiştir.

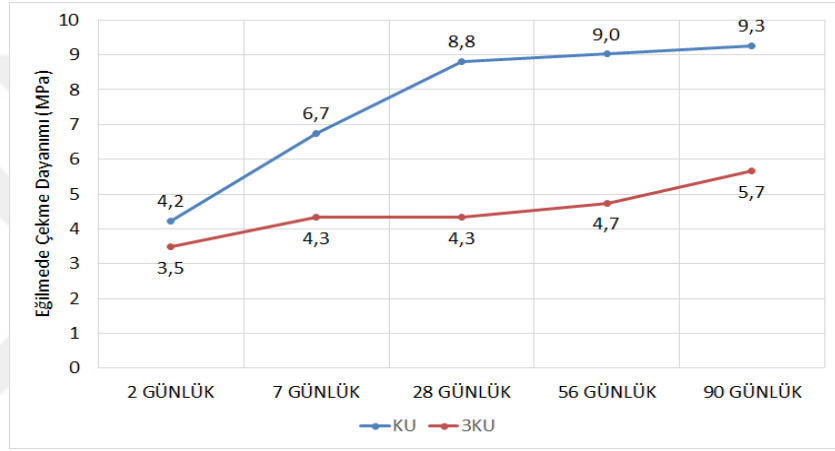


(a)

Şekil 6.2: Uçucu kül bulunmayan numuneler ile atık kablo oranındaki artışa göre eğilmede çekme dayanımlarının karşılaştırılması a) %10 kablo atığı, b) %20 kablo atığı, c) %30 kablo atığı.

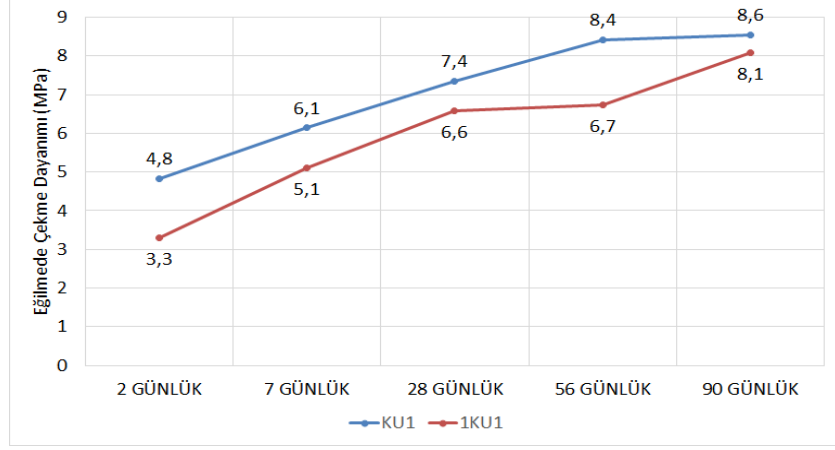


(b)

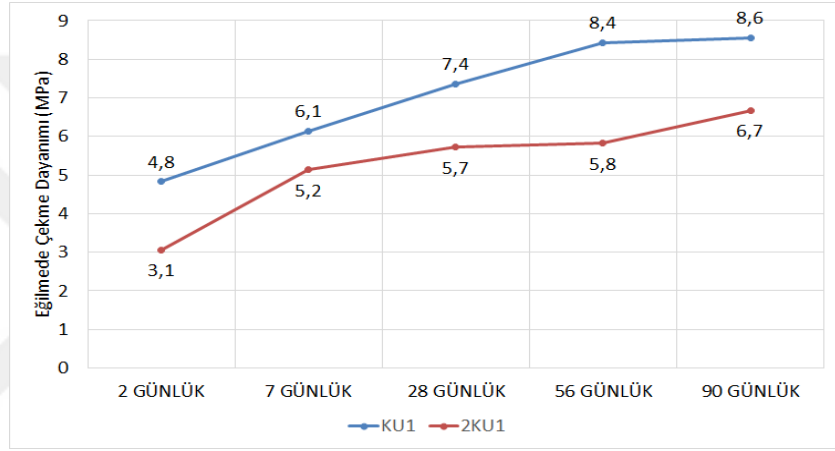


(c)

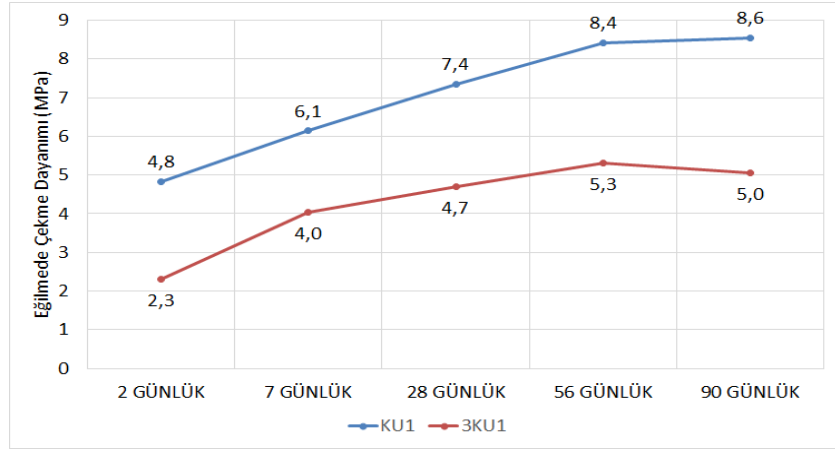
Şekil 6.2 (devam)



(a)

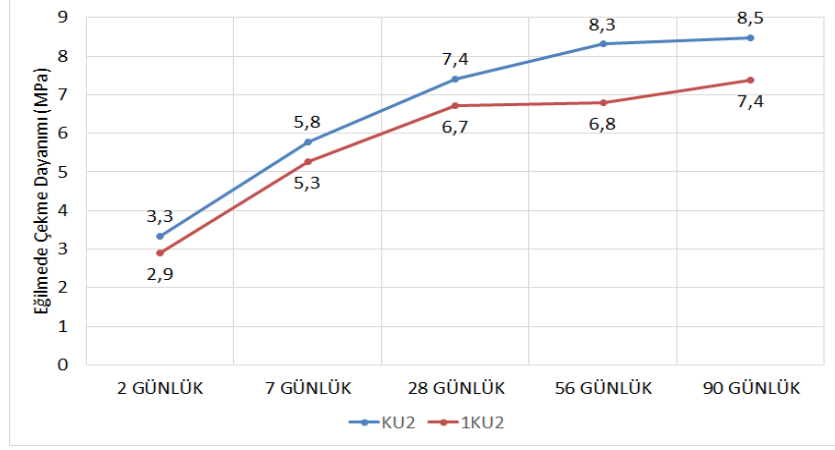


(b)

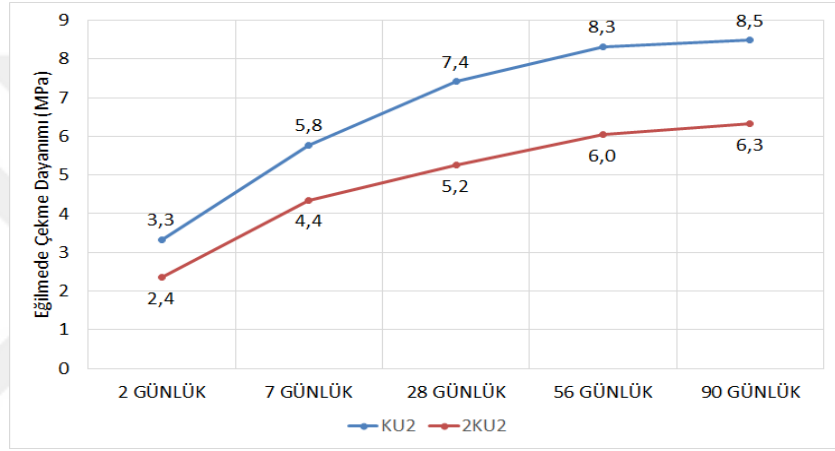


(c)

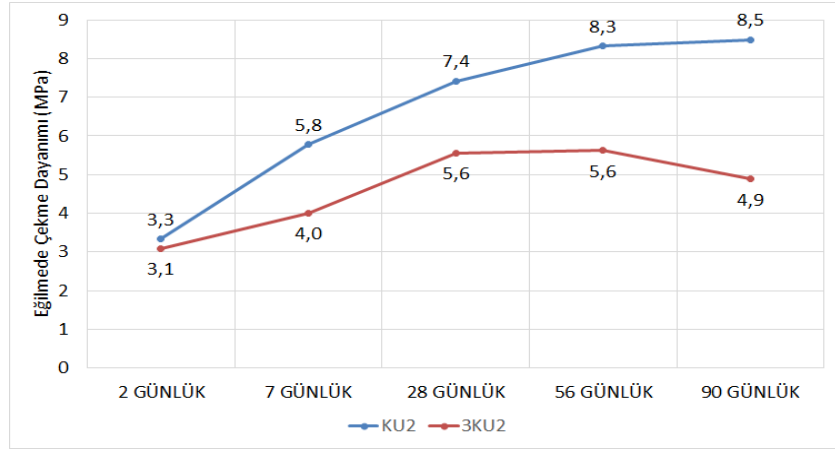
Şekil 6.3: %10 uçucu kül bulunan numuneler ile atık kablo oranındaki artışa göre eğilmede çekme dayanımlarının karşılaştırılması a) %10 kablo atığı, b) %20 kablo atığı, c) %30 kablo atığı.



(a)

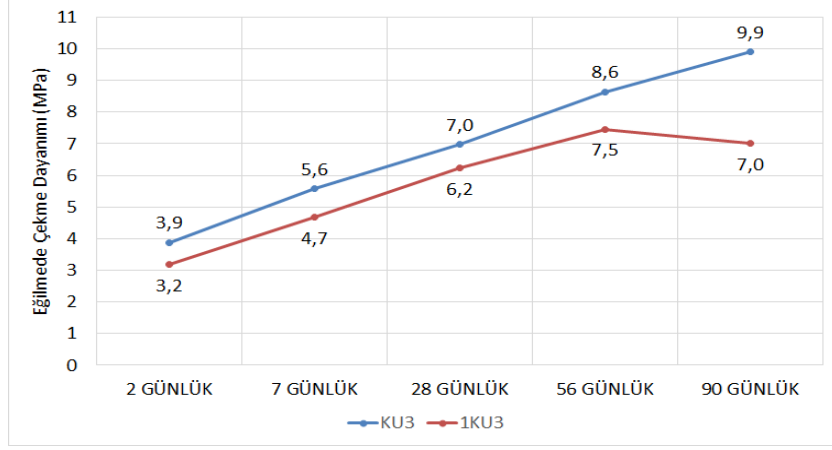


(b)

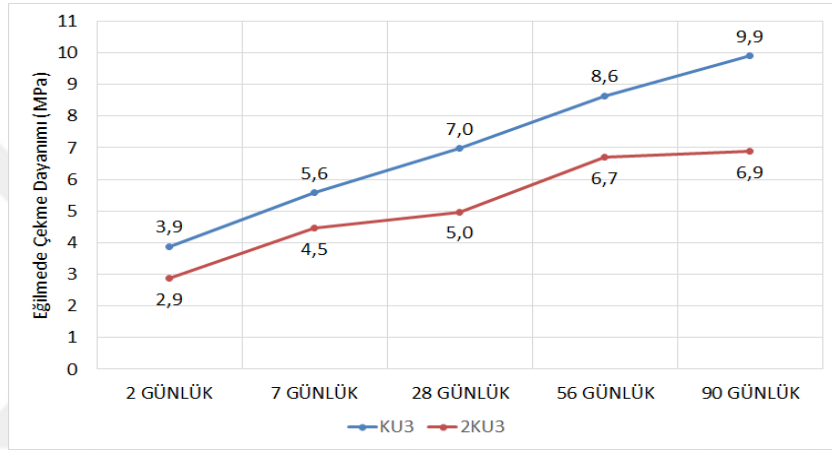


(c)

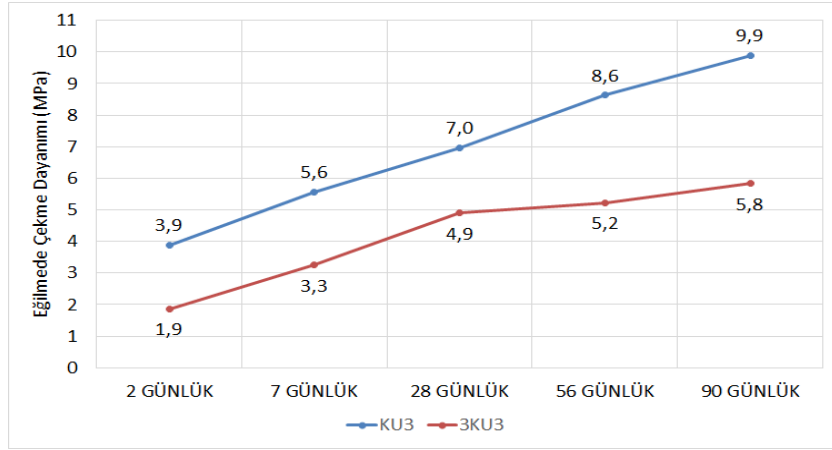
Şekil 6.4: %20 uçucu kül bulunan numuneler ile atık kablo oranındaki artışa göre eğilmede çekme dayanımlarının karşılaştırılması a) %10 kablo atığı, b) %20 kablo atığı, c) %30 kablo atığı.



(a)

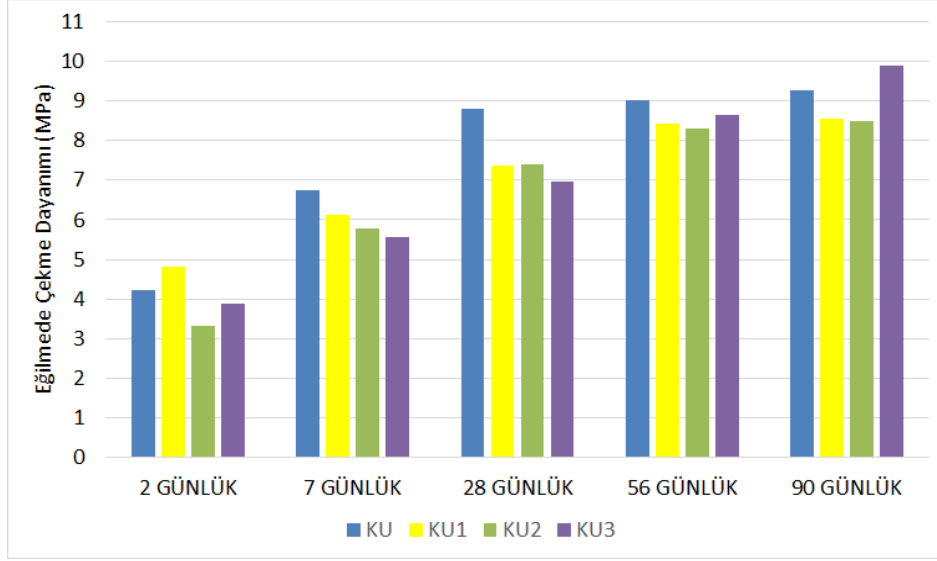


(b)

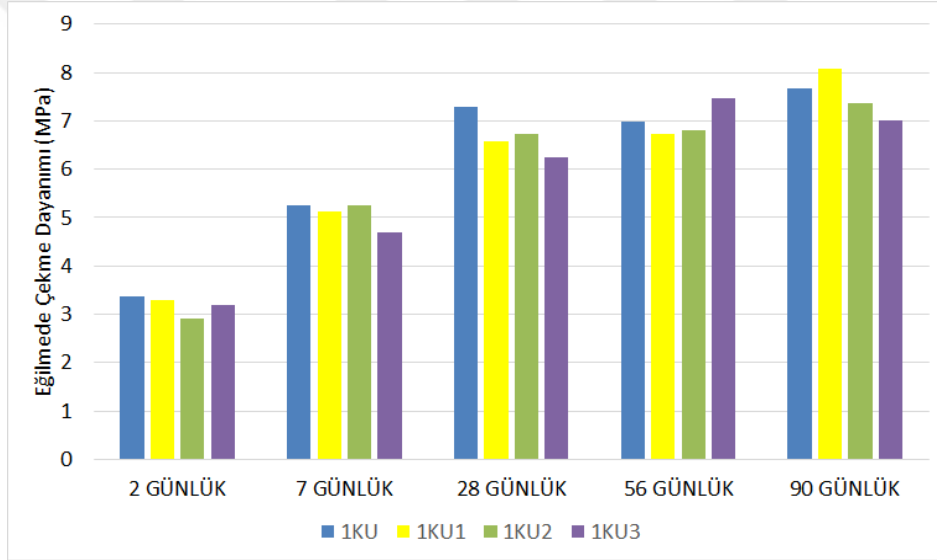


(c)

Şekil 6.5: %30 uçucu kül bulunan numuneler ile atık kablo oranındaki artışa göre eğilmede çekme dayanımlarının karşılaştırılması a) %10 kablo atığı, b) %20 kablo atığı, c) %30 kablo atığı.

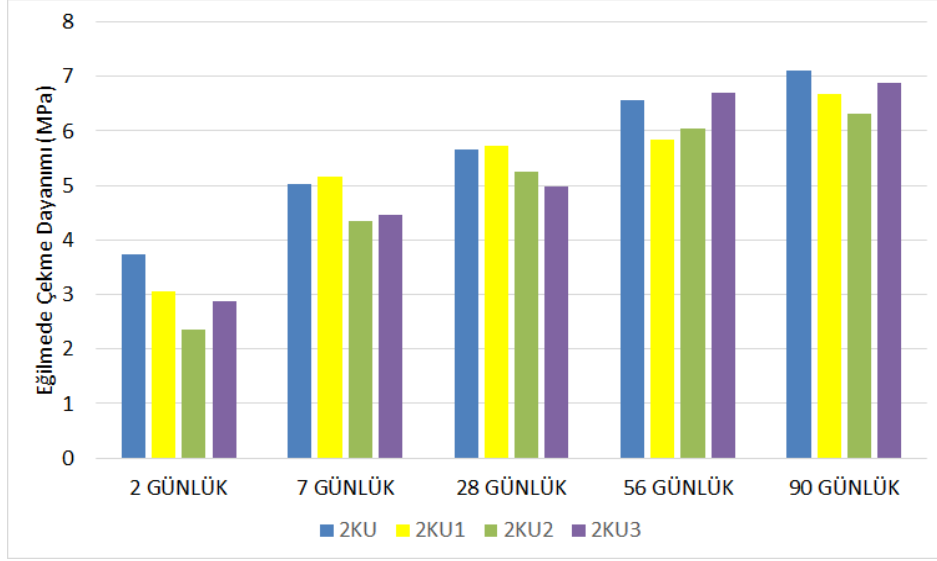


(a)

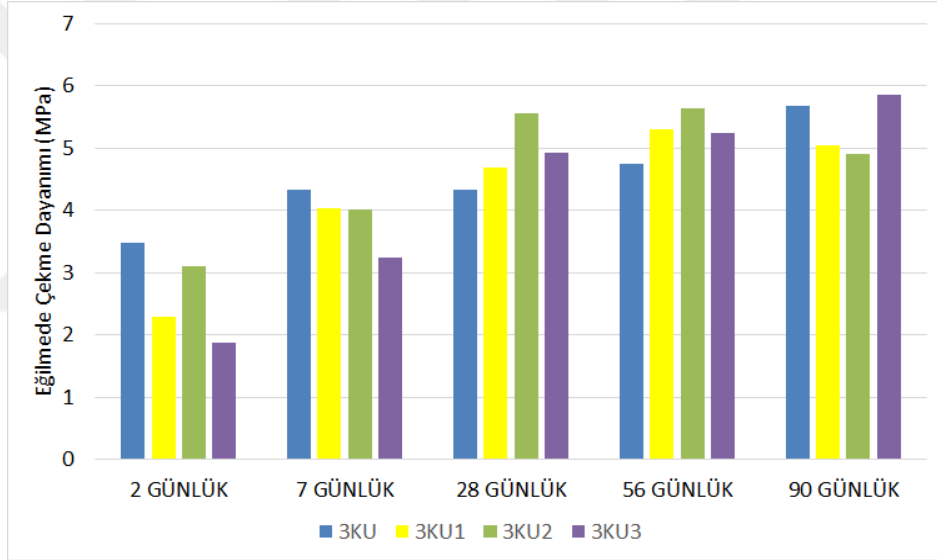


(b)

Şekil 6.6: Kablo atığının, uçucu kül katkıli çimentoların eğilmede çekme dayanımına etkisi a) %0 atık kablo, b) %10 atık kablo, c) %20 atık kablo, d) %30 atık kablo.



(c)



(d)

Şekil 6.6 (devam)

Genele bakıldığında içinde atık kablo bulunmayan karışımların eğilmede çekme dayanım değerleri daha yüksek gelmiştir. Fakat uçucu kül ilavesiyle %10 ve %20 oranında agrega içinde atık kablo bulunan karışımların eğilmede çekme dayanım değerlerinde artış olduğunu söyleyebiliriz.

Semiha Akçaözoğlu, yaptığı deneysel çalışmalarda harç karışımlarının içerisinde agrega olarak kum ile birlikte pet atıklarını kullanmıştır. Pet-bağlayıcı oranının %50'den %60'a çıkarılmasıyla eğilmede çekme dayanımı değerlerinde

azalmanın meydana geldiğini söylemiştir [22]. Bu çalışmada, kablo atığı kuvars kumu ile %10, %20 ve %30 oranlarında yer değiştirilerek kullanılmıştır. Bu artış pet atıklarıyla yapılan deneylerde olduğu gibi eğilmede çekme dayanımlarının değerlerinde düşmeye neden olmuştur. Pet atıklarla yapılan eğilmede çekme dayanımı 28 günlük deney sonuçlarına göre, bağlayıcı olarak uçucu külün %50 oranında çimentoyla yer değiştirilmesiyle hazırlanan karışımların dayanımlarının, sadece çimentonun kullanıldığı karışımların dayanımlarından düşük geldiği araştırmacı tarafından söylenmiştir [22]. Bu çalışmada, kontrol karışımları ile %10 ve %20 oranında atık kablo bulunan toplam 12 karışımın eğilmede çekme dayanım değerleri paralellik göstermiştir. Fakat 28 günlük deney sonuçlarına göre %30 oranında atık kablo bulunan karışımlarda oran olarak uçucu kül miktarındaki artış dayanımı arttırıcı etki göstermiştir. Genele bakıldığında %30 oranında atık kablo bulunan karışımların eğilmede çekme dayanım değerleri, diğer kalan 12 karışımın dayanım değerlerinden daha düşük çıkmıştır.

Al-Maneer ve Dala, araba tamponlarından elde edilen plastik atıkları hafif beton üretiminde agrega olarak kullanmışlardır. Harç karışımına bu atıklar %10-%50 oranlarında eklenmiştir. 28. günün sonunda uygulanan eğilmede çekme dayanımı deneyi neticesinde değerler 3,2 ile 6,5 MPa arasında gelmiştir [21]. Bu çalışmada ise 28. günün sonunda elde edilen eğilmede çekme dayanım değerleri 4,3 ile 8,8 MPa arasında gelmiştir.

Gavela ve arkadaşları, polietilen tereftalat (pet) ve polipropilen (PP) atık malzemeleri harç karışımlarında doğal agregalarla %20 ve %30 oranında yer değiştirilerek kullanmışlardır. Eğilmede çekme dayanımı deneyine tabi tutulan 28 günlük numunelerin dayanım değerleri 2,89 ile 5,03 MPa arasında gelmiştir. Bu değerlerin kontrol numunesinin dayanım değerinden daha az olduğunu söylemişlerdir. Bunun neticesinde bu iki farklı atık ile yapılan eğilmede çekme dayanım değerlerine bakıldığında, değerlerin atık çeşidine göre değil harç içerisindeki oranına bağlı olarak değiştiği kanaatine varmışlardır [77]. Bu çalışmada da 28. günün sonunda deneye tabi tutulan tüm numunelerin, kontrol numunesinin eğilmede çekme dayanım değerinden düşük değerler aldığı görülmüştür.

6.2 Basınç Dayanımı

Kür havuzunda bekletilen prizmatik numunelere 2, 7, 28, 56 ve 90 günlük süre sonunda basınç dayanımı deneyi uygulanmıştır. Bu deney neticesindeki basınç dayanım değerleri Tablo 6.2'de verilmiştir.

Tablo 6.2: Basınç dayanımı deney sonuçları (MPa).

	2 GÜNLÜK	7 GÜNLÜK	28 GÜNLÜK	56 GÜNLÜK	90 GÜNLÜK
KU	16,9	32,6	45,5	50,5	56,1
KU1	19,0	32,3	40,8	45,8	50,4
KU2	12,4	24,6	35,1	42,8	50,8
KU3	14,3	22,1	30,9	38,3	42,2
1KU	12,1	22,9	30,4	31,4	35,3
1KU1	11,0	18,9	24,3	30,4	35,1
1KU2	9,1	18,1	25,4	29,8	34,7
1KU3	10,1	16,5	25,4	28,9	30,7
2KU	11,5	16,2	22,6	22,9	30,7
2KU1	8,2	16,8	18,1	23,0	28,2
2KU2	7,3	12,8	17,0	20,6	23,4
2KU3	7,4	13,5	16,9	21,7	22,4
3KU	9,0	13,3	13,3	14,3	18,9
3KU1	6,4	12,3	14,1	16,1	18,1
3KU2	8,1	11,2	14,5	16,8	14,6
3KU3	5,1	9,4	13,8	14,8	18,0

Basınç dayanım değerlerine bakıldığında, eğilmede çekme dayanım değerleri ile paralellik gösterdiğini söylemek mümkündür. 2 günlük en düşük basınç dayanım değerini %30 oranında uçucu külün ve %30 oranında atık kablunun bulunduğu karışım vermiştir. 7 günlük basınç dayanımlarına bakıldığında yine eğilmede çekme dayanımı deneyinde olduğu gibi, %30 oranında uçucu külün ve %30 oranında atık kablunun bulunduğu karışım en düşük değeri vermiştir. 28 günlük basınç dayanımı değerlerine bakıldığında, sadece %10 uçucu kül içeren karışımların kontrol numunesine yaklaştığını söyleyebiliriz. İleriki yaşlarda ise bu farkın uçucu külün pozolanik etkisinin devreye girmesiyle kapandığını söylemek mümkündür. Özellikle %30 kablo atığı içeren numunelerin 28 günlük basınç dayanımları incelendiğinde, uçucu kül içermeyen (3KU) numuneye göre %20 uçucu kül katkıli harçların (3KU2) basınç dayanımı yüksek çıkmaktadır. İleriki yaşlar için de benzer durumdan söz

edilebilir. Şekil 6.7’de 28 günlük basınç deneyi sonucunda kırılan numunelerin görselleri verilmiştir.



Şekil 6.7: Basınç dayanımı sonrası numune görselleri.

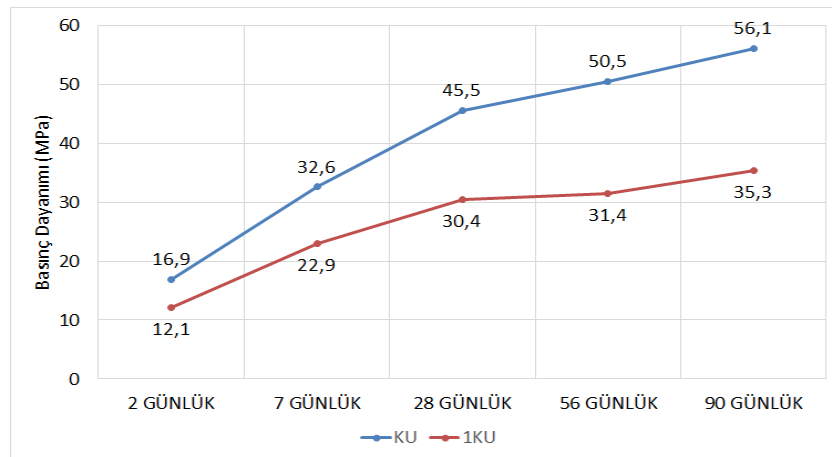
Agrega yerine kullanılan atık kablo oranının artmasıyla birlikte, tüm yaşlarda basınç dayanımı değerinde azalma söz konusudur. Bunun nedenini şöyle özetlemek mümkündür; atık kablolar agrega taneleri kadar sert bir yapıya sahip olmadıkları için basınç dayanım konusunda fazla bir katkısı olmamıştır. Fakat eğilmede çekme dayanımına etkisi, basınç dayanımına göre daha olumlu olmuştur. Uçucu külün çimento ile yer değiştirmesi sonucunda, basınç dayanımındaki kayıplar ileriki yaşlarda azalarak olumlu bir etki yaratmıştır.

Semiha Akçaözoğlu, yaptığı deneysel çalışmalarda harç karışımlarının içerisinde agrega olarak kum ile birlikte pet atıklarını kullanmıştır. Pet-bağlayıcı oranının %50’den %60’a çıkarılmasıyla basınç dayanımı değerlerinde azalmanın meydana geldiğini söylemiştir. Araştırmacı, depreme dayanıklı yapı tasarımında atık pet şişe kırıklarının, taşıyıcı hafif beton agregası olarak kullanılabileceği kanısına varmıştır. Yine aynı deneyde bağlayıcı olarak uçucu külün %50 oranda çimentoyla yer değiştirmesiyle hazırlanan karışımların basınç dayanımları, çimentolu ve yüksek fırın cürüflü karışımlara göre daha düşük değer aldığını bildirmiştir [22]. Bu çalışmada ise 28. günün sonunda yapılan basınç dayanımı deneyine göre atık kablo ve uçucu kül miktarındaki artış basınç dayanım değerlerinde azalmalara sebep olmuştur.

Al-Maneer ve Dala, araba tamponlarından elde edilen plastik atıkları hafif beton üretiminde agrega olarak kullanmışlardır. Harç karışımına bu atıklar %10-%50 oranlarında eklenmiştir. 28 günün sonunda uygulanan basınç dayanımı neticesinde değerler 19 ile 48 MPa arasında gelmiştir [21]. Bu çalışmada ise 28. günün sonunda elde edilen basınç dayanım değerleri 13,3 ile 45,5 MPa arasında gelmiştir.

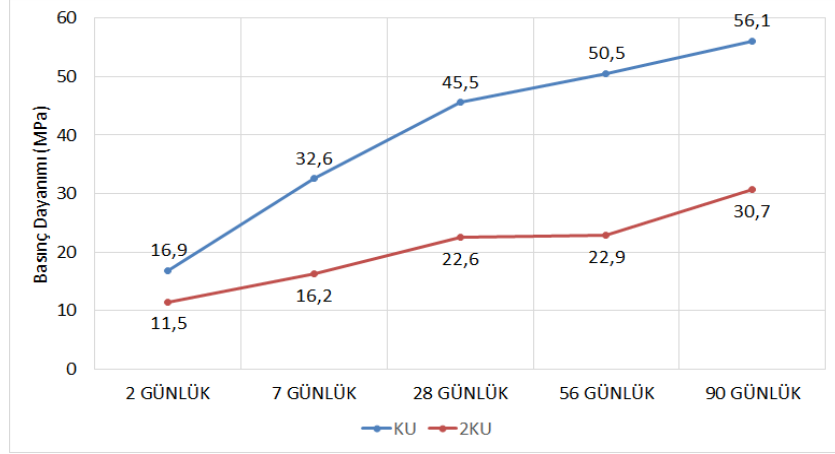
Özturan, beton karışımında uçucu kül kullanılmasının basınç ve eğilmede çekme dayanımlarında aynı etkiyi gösterdiğini söylemiştir [78]. Gökçe ve arkadaşları, beton harç karışımlarında uçucu külün %30 oranında çimentoyla yer değiştirilerek kullanılmasının, basınç dayanımına olan etkisinin istenilen değerlerde olmadığını söylemişlerdir. Fakat %10 ile %20 oranlarında kullanılan uçucu külün basınç dayanımına olan etkisinin olumlu olduğunu bildirmişlerdir [70]. Bu durum yapılan bu çalışma için de aynı sonuçları ortaya koymuştur.

Uçucu kül bulunmayan numuneler ile %10, %20 ve %30 oranlarında uçucu kül bulunan numunelerin, atık kablo miktarına göre basınç dayanımlarının karşılaştırılması yapıp, Şekil 6.8, Şekil 6.9, Şekil 6.10 ve Şekil 6.11’de verilmiştir. Ayrıca atık kablo bulunmayan numuneler ile %10, %20 ve %30 oranlarında atık kablo bulunan numunelerin de, uçucu kül miktarına göre basınç dayanımlarının karşılaştırılması yapıp, Şekil 6.12’de verilmiştir.

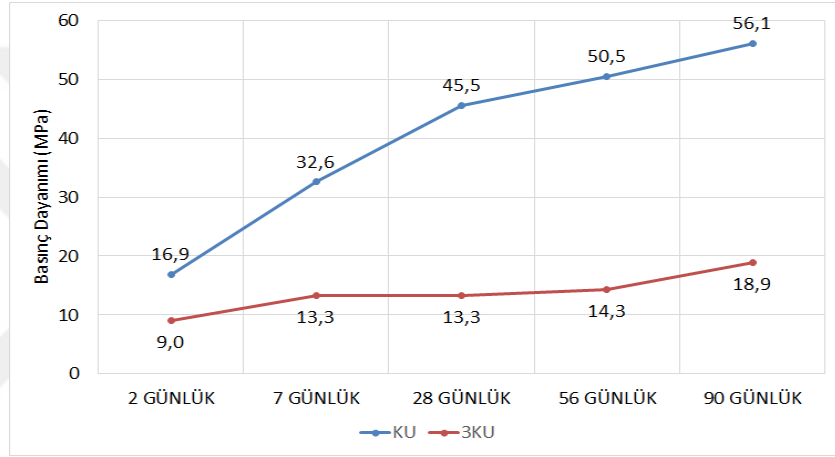


(a)

Şekil 6.8: Uçucu kül içermeyen numunelerin, atık kablo miktarına göre basınç dayanımlarının karşılaştırılması a) 1KU, b) 2KU, c) 3KU.

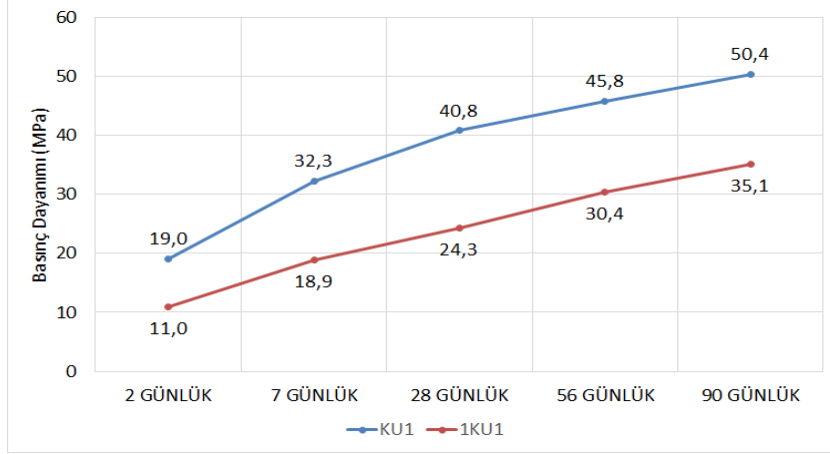


(b)

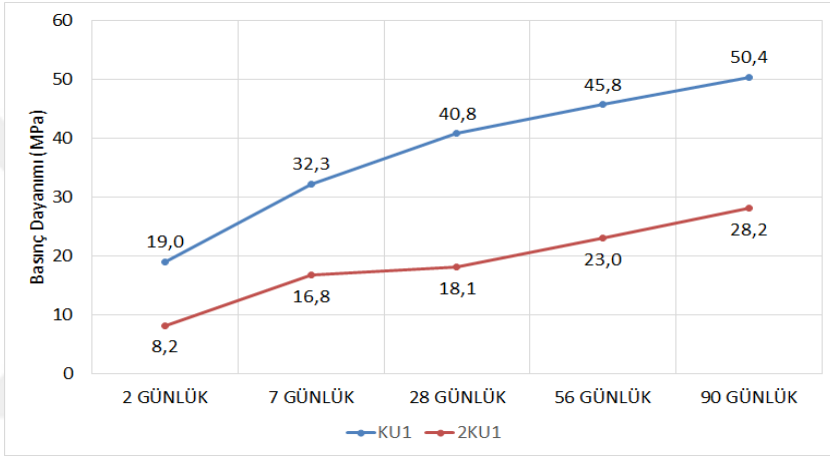


(c)

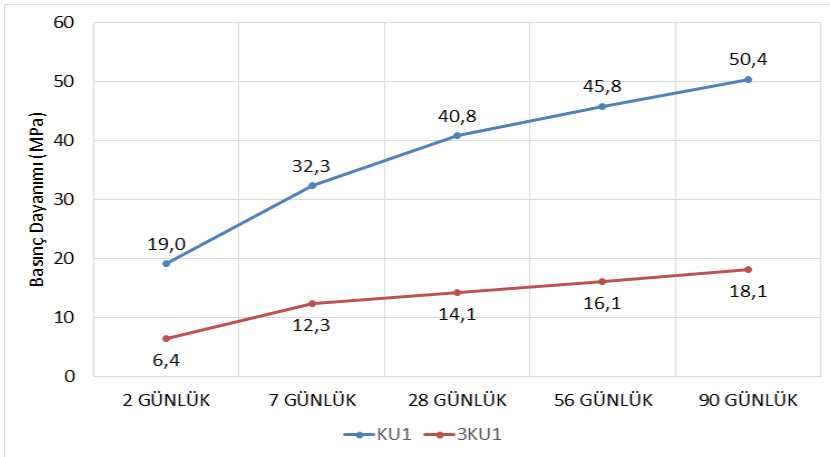
Şekil 6.8 (devam)



(a)

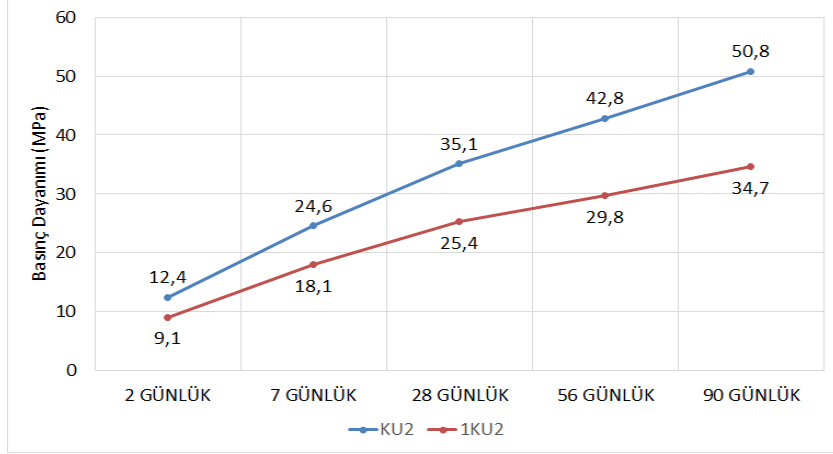


(b)

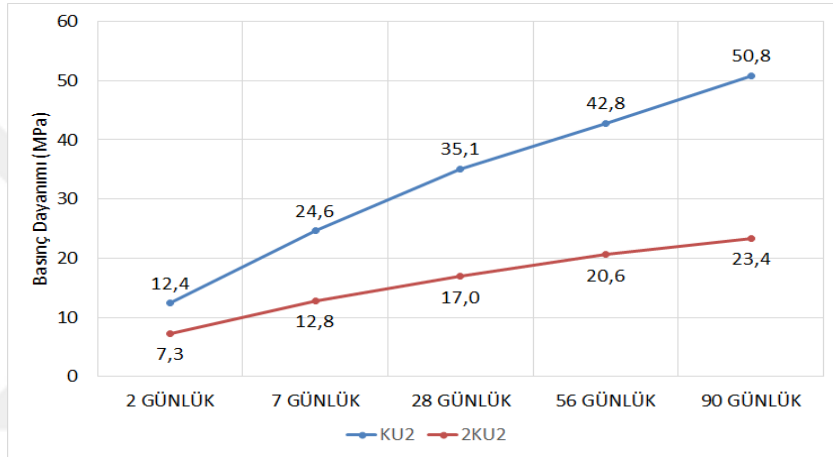


(c)

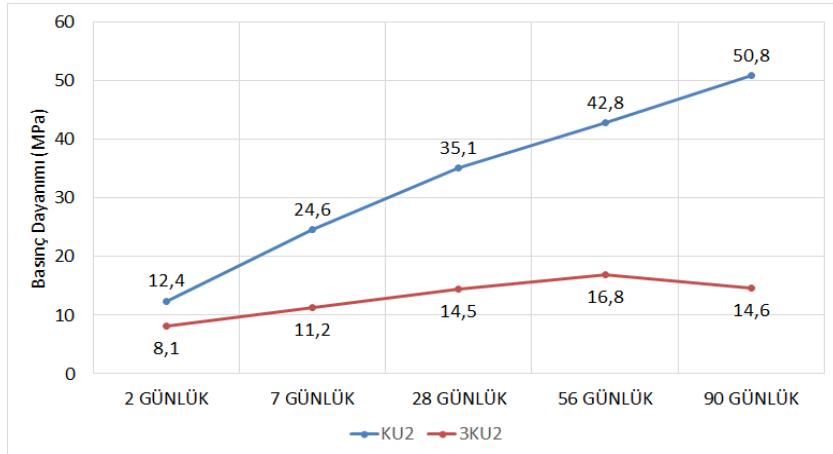
Şekil 6.9: %10 uçucu kül içeren numunelerin, atık kablo miktarına göre basınç dayanımlarının karşılaştırılması a) 1KU1, b) 2KU1, c) 3KU1.



(a)

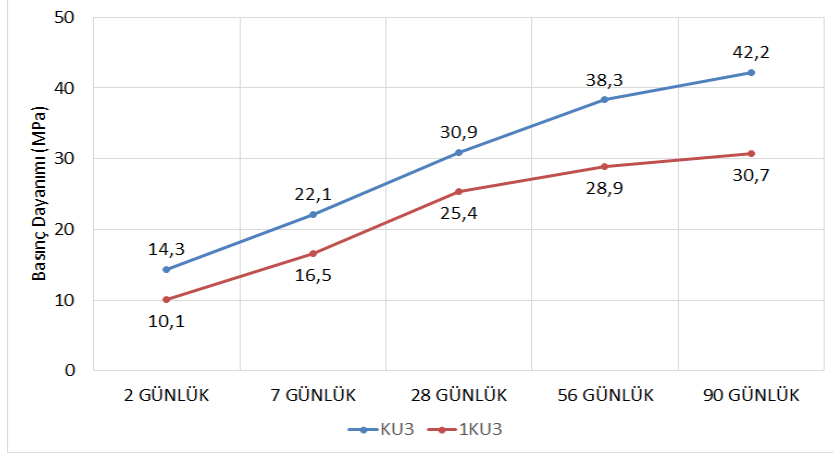


(b)

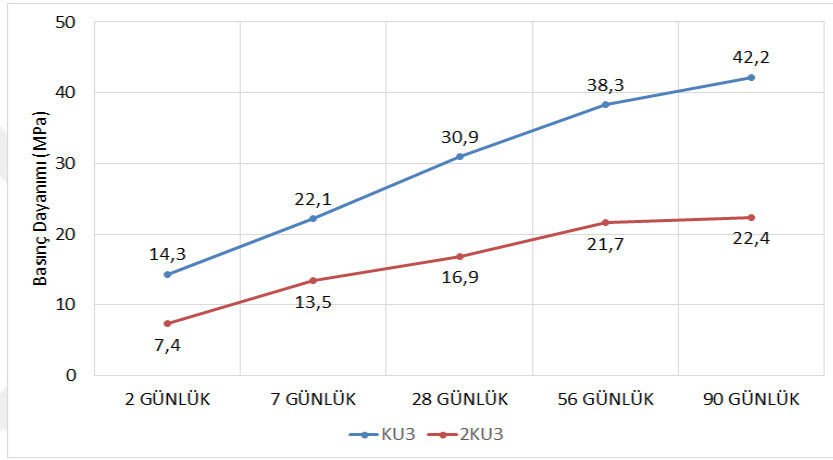


(c)

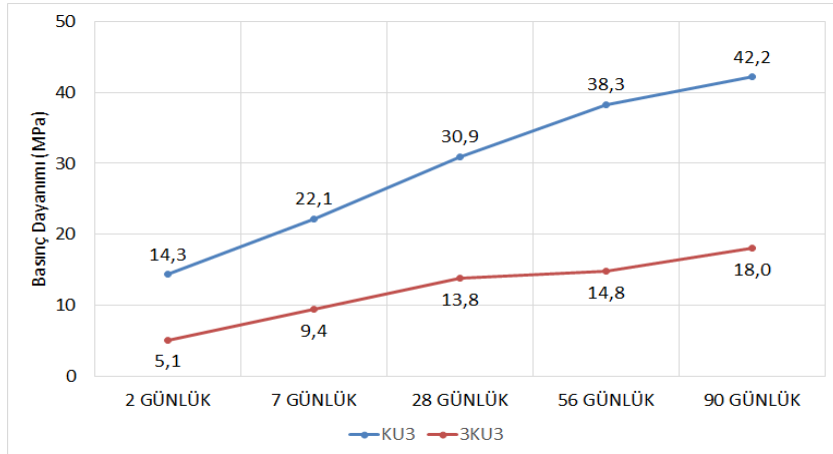
Şekil 6.10: %20 uçucu kül içeren numunelerin, atık kablo miktarına göre basınç dayanımlarının karşılaştırılması a) 1KU2, b) 2KU2, c) 3KU2.



(a)

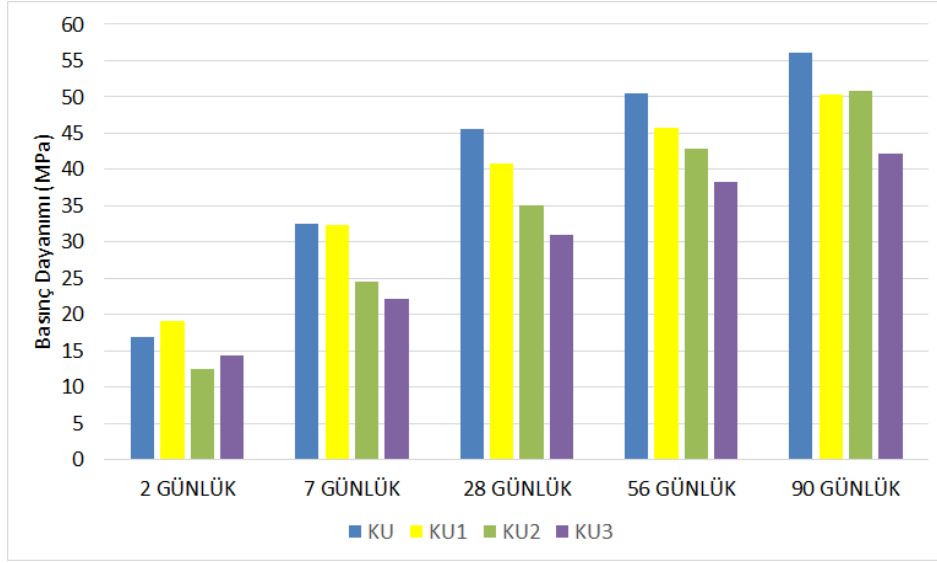


(b)

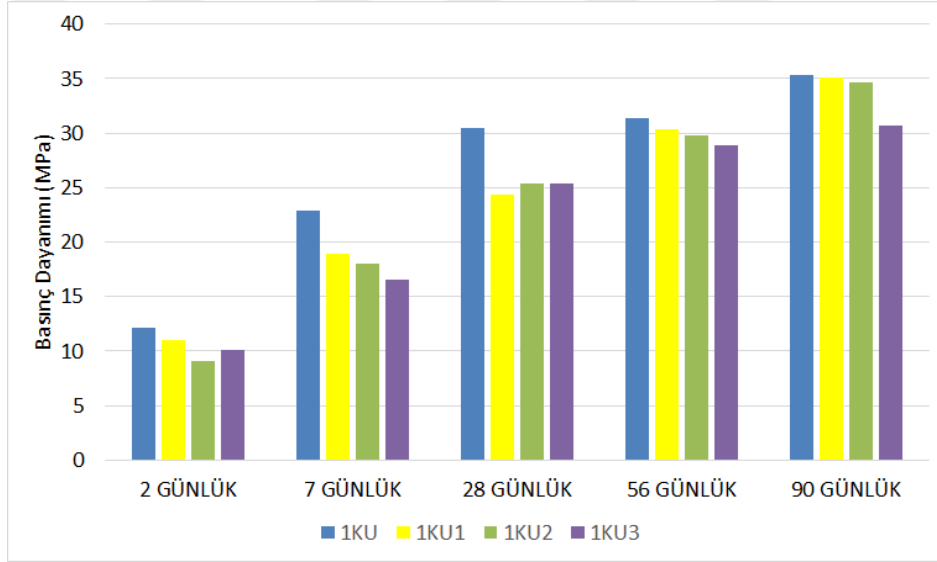


(c)

Şekil 6.11: %30 uçucu kül içeren numunelerin, atık kablo miktarına göre basınç dayanımlarının karşılaştırılması a) 1KU3, b) 2KU3, c) 3KU3.

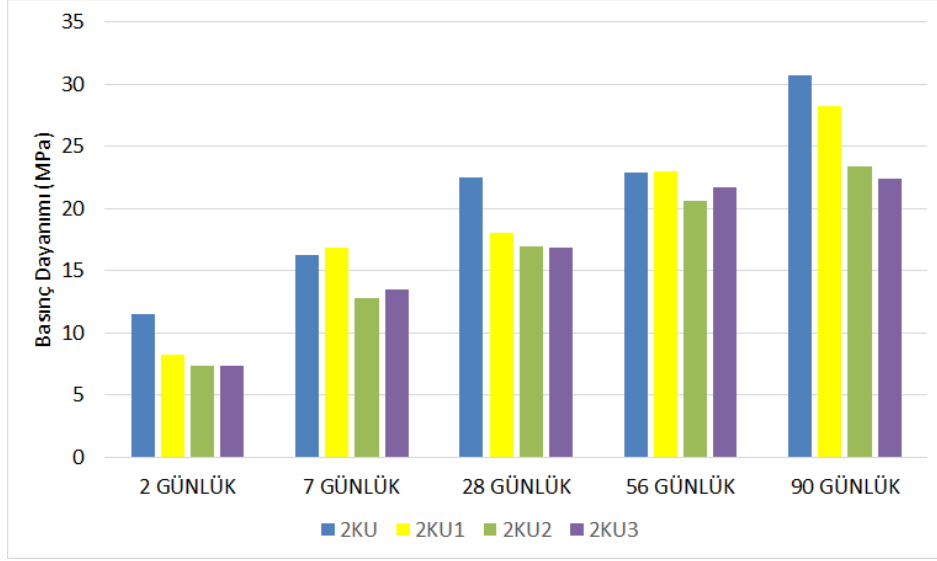


(a)

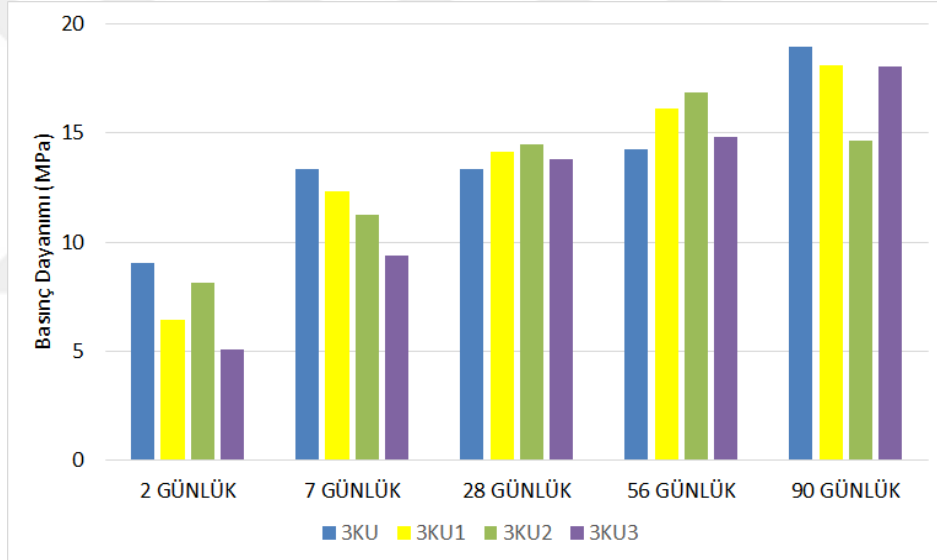


(b)

Şekil 6.12: Kablo atığının, uçucu kül katkıli çimentoların basınç dayanımına etkisi
a) %0 atık kablo, b) %10 atık kablo, c) %20 atık kablo, d) %30 atık kablo.



(c)



(d)

Şekil 6.12 (devam)

6.3 Yüksek Sıcaklık Etkisi

Küp numunelere uygulanan yüksek sıcaklık deneyi 200 °C ve 400 °C’de gerçekleştirilmiştir. 200 °C’de gerçekleştirilen deneyde Şekil 6.13’de görselleri verilen, harç karışımı içerisinde %20 oranında atık kablo ile %20 oranında uçucu külün bulunduğu 2KU2 kodlu numune ile %30 oranında atık kablo ile %30 oranında uçucu külün bulunduğu 3KU3 kodlu numune, diğer numunelere kıyasla daha yanık görünümü

almışlardır. Bunun sebebi olarak bünyesinde bulundukları kablo atığının, yüksek oranda olması gösterilebilir. Çünkü sıcaklığın etkisiyle numune içerisindeki kablo atıklarında yanma meydana gelmiştir. Buda numunelerin kimyasal özelliklerini etkilemesi yanında görünüşünde de farklılığa sebep olmuştur.



(a)

(b)

Şekil 6.13: 200 °C’de yüksek sıcaklığa maruz kalan a) 3KU3 numunesi b) 2KU2 numunesi.

400 °C’de gerçekleşen deneyde ise harç karışımı içerisinde atık kablo bulunmayan numuneler hariç diğer kalan numunelerin, Şekil 6.14’de görüldüğü gibi çok kararıp yandığını söylemek mümkündür. Burdaki önemli etken kablo atıkları hangi oranda olursa olsun, onların yanıp kararmasına sebep olan yüksek sıcaklıktır.



Şekil 6.14: 400 °C’de yüksek sıcaklığa maruz kalan numuneler.

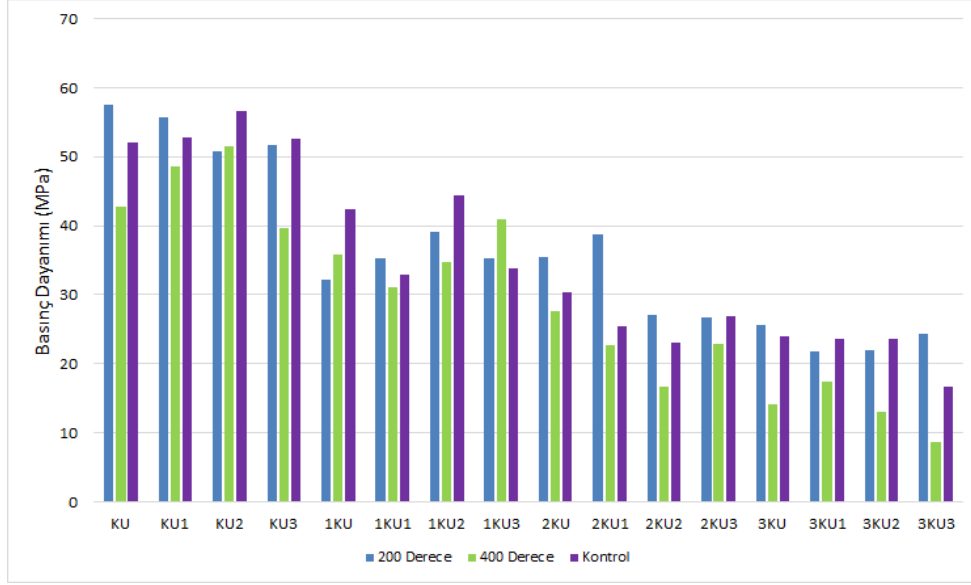
Şekil 6.16’da görüldüğü üzere 200 °C ve 400 °C’de ısıtılan numuneleri birbiri ile karşılaştırdığımız zaman en yüksek basınç dayanımı değeri, 200 °C’de ısıtılan, içerisinde atık kablo ile uçucu kül bulunmayan KU kodlu numuneden elde edilmiştir. 200 °C’de ısıtılan KU numunesinin basınç dayanımı deneyinden sonra görseli Şekil 6.14’de verilmiştir. Sıcaklığın yükselmesi basınç dayanım değerinde azalmaya sebep olmuştur. Genele bakıldığında 400 °C’de ısıtılan numuneler daha az dayanım değerine sahiptir. 200 °C’de ısıtılan numuneler ile referans numunelerini kıyaslarsak atık kablo ve uçucu kül miktarındaki artış, sıcaklığın da etkisiyle basınç dayanımında azalmalara neden olmuştur.



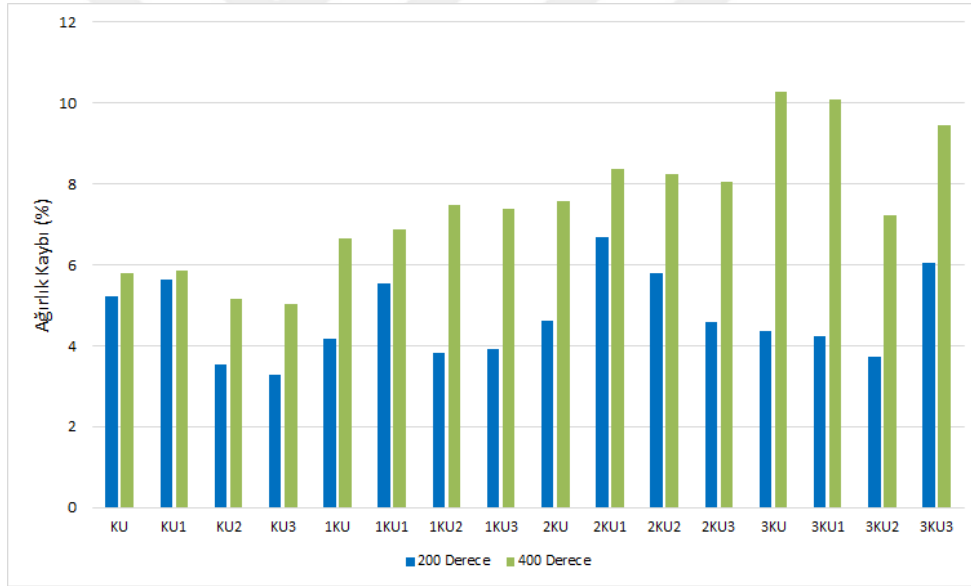
Şekil 6.15: 200 °C’ de yüksek sıcaklığa maruz kalıp, basınç dayanımı deneyi uygulanan KU numunesi.

Yüksek sıcaklığa maruz kalan numunelerin basınç dayanım değerindeki azalmanın nedeni, çimento hamurunda bulunan C-S-H (kalsiyum silikat hidrat)’ ın jel ve kimyasal bağlarla birbirine bağlı sularının buharlaşıp, kaybolmaya başlaması ile açıklanabilmektedir [79].

Küp numunelerin, ısıtılmadan önce ve sonra ağırlık kontrolleri yapılmış ve Şekil 6.17’de ağırlık kaybı yüzdeleri verilmiştir. 400 °C’de ısıtılan numunelerin ağırlık kayıplarının, 200 °C’de ısıtılan numunelerden daha fazla olduğu görülmüştür.



Şekil 6.16: 200 °C, 400 °C ısıtılan numuneler ile kontrol numunelerinin basınç dayanımı değerleri.



Şekil 6.17: 200 °C ve 400 °C ısıtılan numunelerin ağırlık kaybı (%).

6.4 Su Emme Miktarı

Betonda su geçirgenliğinin ana nedeni, beton içerisinde bulunan boşluklar ve çimento hamuru ile agrega ara yüzeyinde bulunan mikro çatlaklardır. Betonun dayanıklılığını etkileyen en önemli faktör su geçirimsizliğidir. Agrega türü, yapılan kür koşulları ve zamanı, numunenin boyutu gibi etkenler su emme miktarını etkileyen faktörlerdir. Bu bağlamda küp numuneler üzerinde yaptığımız deney

neticesinde 1 gün boyunca suda bekletilen numunelerin ağırlık kontrolü yapılmıştır. Küp numunelerin suda bekletilmeden önce ve sonraki ağırlık kontrolleri neticesinde, yüzde olarak ağırlıkça su emme oranlarının bulunduğu formül ile değerler hesaplanmış ve Tablo 6.3’de verilmiştir.

Tablo 6.3: Ağırlıkça su emme oranı (%).

%	U	U1	U2	U3
K	2,60	2,24	1,72	1,74
1K	1,28	1,91	1,19	1,34
2K	1,66	2,36	2,56	2,06
3K	1,09	1,24	2,31	3,04

TS 706’ya göre kumun yüzde olarak su emme oranı 0-2 arasında değişmektedir [80]. Yapılan deneyler neticesinde küp numunelerin su emme yüzdeleri 1,09 ile 3,04 arasında gelmiştir. TS 706 ile küp numunelerimizin su emme yüzdeleri arasındaki farklılık bize atık kablo ve uçucu kül kullanımının oranlara etkisini göstermiştir. Tablo 6.3’e bakıldığında en yüksek su emme yüzdesine sahip karışım içerisinde %30 oranında atık kablo ve uçucu külün bulunduğu 3KU3 karışımı olmuştur. Sadece bağlayıcı olarak çimento kullanılan karışımlara bakıldığında agrega içerisinde atık kablo kullanılması ağırlıkça su emme yüzdesinde bir azalma meydana getirmiştir. Burdan kablo atıklarının aradaki boşlukları doldurduğunu ve geçirimsizliği azalttığını söylemek mümkündür. Genel olarak, uçucu kül miktarı ile kablo atığındaki artış su emme yüzdesinde bir artış meydana getirmiştir. Fakat bu artış atık kablo bulunmayan, uçucu küllü karışımlar için tam tersi sonuç vermiştir.

Karahan, yaptığı çalışmalar neticesinde beton karışımında bulunan uçucu kül miktarındaki artışın su emme yüzdesini ve boşluk oranlarını artırdığını söylemiştir [81]. Bu çalışmada ise atık kablonun bulunmadığı karışımlarda uçucu kül miktarındaki artış su emme yüzdesinde azalma meydana getirmiştir. Semiha Akçaözöglü, yaptığı deneylerde pet-bağlayıcı oranı 0,50 olan karışımlarda %50 uçucu kül ikamesinin su emme yüzdesini düşürdüğünü söylemiştir. Fakat pet-bağlayıcı oranı 0,60 olan karışımlarda bu olayın tam tersi bir durum söz konusu olmuştur. Yani su emme yüzdesinde artış gözlemlenmiştir [22]. Bu çalışmada ise

uçucu kül bulunmayan karışımlarda atık kablo miktarındaki artış su emme yüzdeleri azaltmıştır. Fakat özellikle %20 ve % 30 oranında atık kablo bulunan karışımlarda uçucu kül eklenmesi su emme yüzdelerinde artış meydana getirmiştir.

6.5 Donma-Çözülme Etkisi

Donma-Çözülme deneyi öncesinde ve sonrasında numunelerin ağırlıkları ölçülerek ağırlık değişimleri belirlenmiştir. Deney sonrası ölçümlerde numunelerin ağırlıklarında bir artış olduğu gözlemlenmiştir. Özellikle uçucu külün %30 oranında kullanıldığı karışımlarda bu oran daha fazladır. Bunun gerekçesi olarak uçucu kül miktarındaki artışın, su emme yüzdesini ve boşluk oranlarını artırdığını söyleyebiliriz. Atık kablo miktarındaki artış bu durumu pek etkilememektedir. Hatta atık kablo miktarının artması boşluk oranını azaltmış ve bu sebeple su emme yüzdelerinde bir azalma meydana gelmiştir. Şekil 6.18’de görüldüğü üzere küp numunelerin, özellikle uçucu külden dolayı boşluklu yapıda olmasının ve su emme yüzdesinin fazla olmasının yanında dondan pek etkilenmedikleri gözlemlenmiştir. Bunun nedeni olarak karışımların suya tam doygun hale gelmemiş olması gösterilebilir.



Şekil 6.18: Donma-Çözülme deneyi sonrası küp numuneler.

Donma-Çözölmeye maruz kalmış, sonra basınç dayanım deneyine tabi tutulan numunelerin dayanım değeri Tablo 6.4’de gösterilmiştir. Atık kablo ve uçucu kül bulunmayan numuneye kıyasla diğer numunelerin dayanım değeri düşük gelmiştir. Özellikle %10, %20 ve %30 oranlarında uçucu kül eklenmesiyle küp numunelerin basınç dayanım değerlerinde düşüş meydana gelmiştir. Burada atık kablo miktarındaki artış da dayanımı olumsuz etkilemiştir.

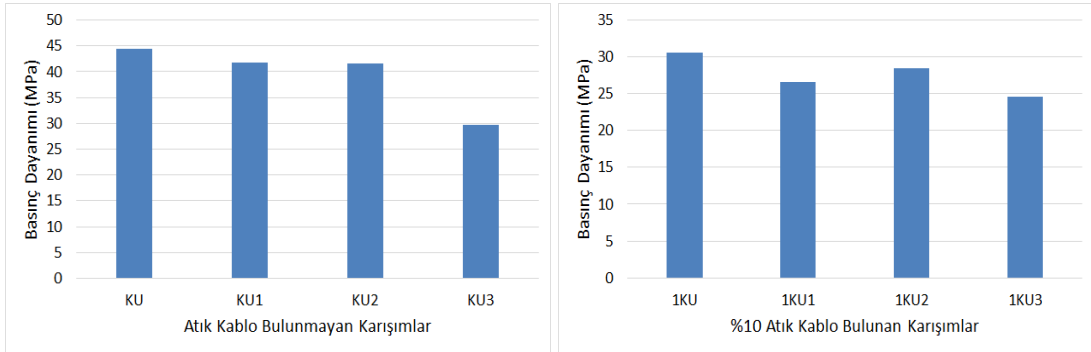
Tablo 6.4: Donma-Çözölme deneyine maruz kalmış numunelerin ve kontrol numunelerinin basınç dayanım, ağırlık değişimi ve basınç dayanım değişimi değeri.

	Ağırlık Değişimi (%)	Basınç Dayanım Değerleri (MPa)	Kontrol Numunelerinin Basınç Dayanım Değerleri (MPa)	Basınç Dayanım Kaybı (%)
KU	3,3	44,4	52,1	14,7
KU1	3,2	41,7	52,8	21,1
KU2	2,2	41,6	56,7	26,6
KU3	4,2	29,8	52,6	43,3
1KU	2,5	30,6	42,5	27,9
1KU1	2,8	26,6	33,0	19,5
1KU2	2,5	28,5	44,4	35,8
1KU3	3,1	24,6	33,8	27,2
2KU	2,5	26,0	30,4	14,6
2KU1	2,7	22,9	25,4	9,8
2KU2	3,8	20,8	23,2	10,3
2KU3	3,5	17,7	26,9	34,1
3KU	1,7	19,7	24,0	18,0
3KU1	2,0	17,5	23,6	25,9
3KU2	3,0	17,1	23,6	27,3
3KU3	4,5	13,7	16,7	18,1

Donma-Çözölme deneyinde kullanılan küp numuneler, referans numuneler ile karşılaştırıldığında Şekil 6.21’de görüldüğü gibi basınç dayanımları daha düşük gelmiştir. Bu sebeple küp numunelerin donma-çözölme olayından olumsuz etkilendiğini söylemek mümkündür.

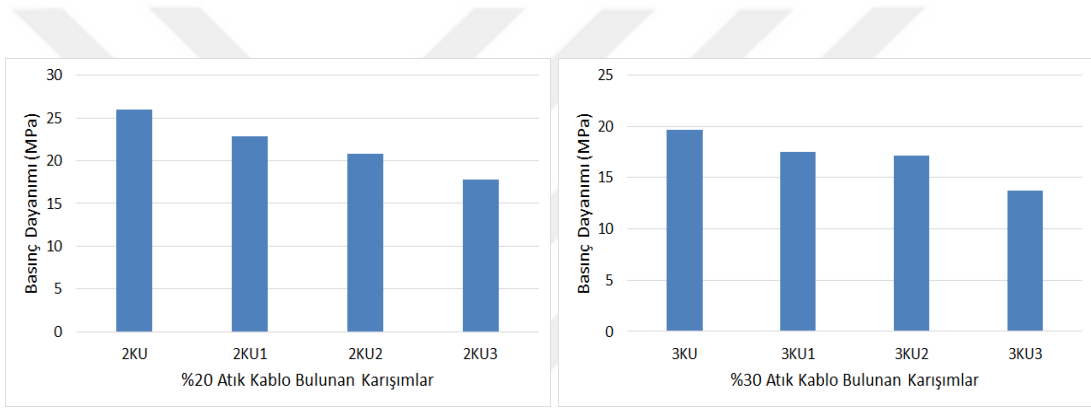
Şekil 6.19’da Donma-Çözölme deneyi uygulanan numunelerin, uçucu kül miktarına göre basınç dayanımı gelişim grafikleri, Şekil 6.20’de Donma-Çözölme

deneyi uygulanan numunelerin, atık kablo miktarına göre basınç dayanımı gelişim grafikleri verilmiştir.



(a)

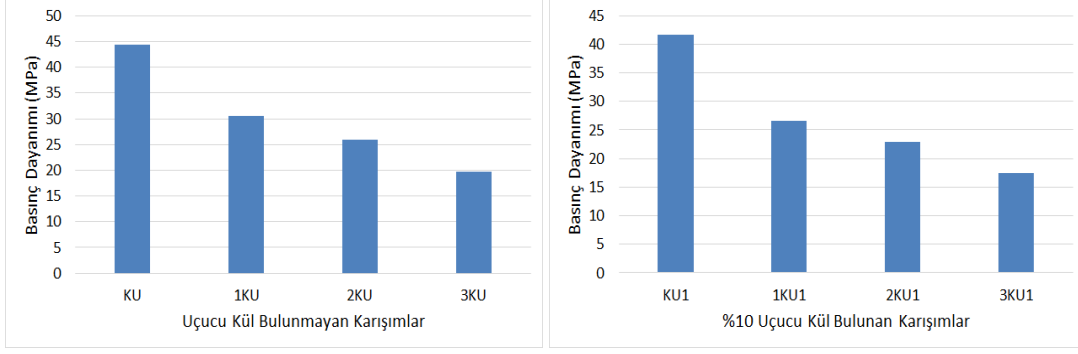
(b)



(c)

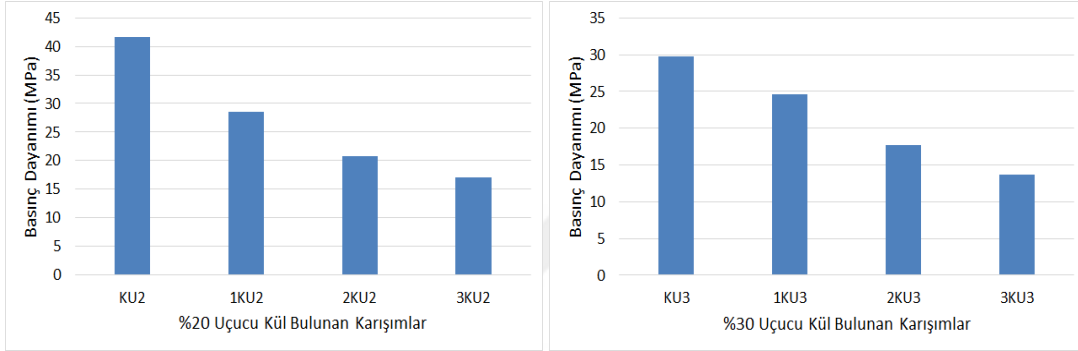
(d)

Şekil 6.19: Donma-Çözülme deneyi uygulanan numunelerin, uçucu kül miktarına göre basınç dayanımı gelişimi a) atık kablo bulunmayan, b) %10 atık kablo bulunan, c) %20 atık kablo bulunan, d) %30 atık kablo bulunan.



(a)

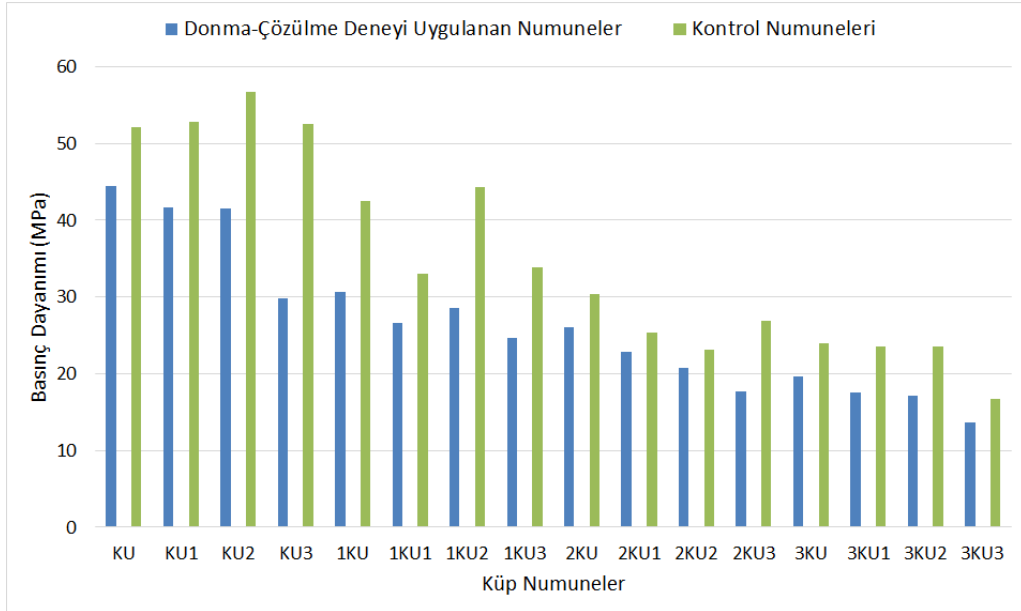
(b)



(c)

(d)

Şekil 6.20: Donma-Çözülme deneyi uygulanan numunelerin, atık kablo miktarına göre basınç dayanımı gelişimi a) uçucu kül bulunmayan, b) %10 uçucu kül bulunan, c) %20 uçucu kül bulunan, d) %30 uçucu kül bulunan.



Şekil 6.21: Donma-Çözülme deneyi uygulanan numuneler ile kontrol numunelerinin basınç dayanım değerleri.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan çalışmalar neticesinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1) 2, 7, 28, 56 ve 90 gün bakımı yapılan harç numunelerinin, atık kablo oranının arttırılması eğilmede çekme dayanımlarında azalmaya sebep olmuştur.

28 günlük eğilmede çekme dayanım değerlerine bakıldığında, harç karışımı içerisinde atık kablonun bulunmadığı numunelerin dayanım değerleri, kontrol numunesinin eğilmede çekme dayanım değerinden düşük gelmiştir. 56 ve 90. günlere gelindiğinde ise atık kablonun bulunmadığı fakat %10, %20 ve %30 oranlarında uçucu kül ikameli harç numunelerinin eğilmede çekme dayanım değerlerinde artış meydana gelmiştir. Bu durumu gün geçtikçe uçucu külün dayanıma olan arttırıcı etkisi olarak açıklayabiliriz.

Harç karışımlarındaki uçucu kül ve atık kablo oranlarının paralel olarak artışı eğilmede çekme dayanımlarında düşmeye sebep olmuştur.

2) 2, 7, 28, 56 ve 90 gün bakımı yapılan harç numunelerinin, atık kablo oranının arttırılması basınç dayanımlarında azalmaya sebep olmuştur.

28 günlük basınç dayanım değerlerine bakıldığında, harç karışımı içerisinde atık kablonun bulunmadığı numunelerin dayanım değerleri, uçucu kül miktarındaki artışla beraber kontrol numunelerinin basınç dayanım değerlerinden düşük gelmiştir. Genele bakıldığında ise tüm numunelerin basınç dayanım değerleri, kontrol numunesinden daha azdır.

Harç karışımlarındaki uçucu kül ve atık kablo oranlarının paralel olarak artışı basınç dayanımlarında düşmeye sebep olmuştur. Elde edilen sonuçlar neticesinde eğilmede çekme dayanımı değerleri ile basınç dayanımı değerlerinin paralellik gösterdiğini söylemek mümkündür.

3) 200 °C ve 400 °C'de gerçekleştirilen yüksek sıcaklık deneylerinde, harç karışımlarında bulunan atık kablo miktarındaki artışın, numunenin olduğundan daha

fazla yanık görüntüsü alıp, kararmasına sebep olduğunu söylemek mümkündür. Bu durumun özellikle 400 °C’de yüksek sıcaklığa maruz bırakılan numunelerde bariz bir şekilde, gözle görüldüğünü söyleyebiliriz.

Genele baktığımızda yüksek sıcaklığın artması basınç dayanımında azalmaya sebep olmuştur. Fakat elde edilen bazı değerlerde 400 °C’de yüksek sıcaklığa maruz bırakılan numunelerin basınç dayanım değerlerinin, 200 °C’de yüksek sıcaklığa maruz bırakılan numunelerden yüksek geldiği görülmüştür. Bu durum sadece %10 atık kablo bulunan numuneler için geçerlidir. Nedenini atık kablo miktarındaki dağılımın homojen olmaması şeklinde açıklayabiliriz.

200 °C ve 400 °C’de yüksek sıcaklığa maruz bırakılan numuneler ile kontrol numunelerinin basınç dayanımı değerleri karşılaştırıldığında, en yüksek dayanım değerini kontrol numunesi olan ve 200 °C’de yüksek sıcaklığa maruz bırakılan numune vermiştir. En düşük dayanım değerini ise %30 atık kablo ile %30 oranında uçucu külün bulunduğu harç karışımına sahip olan ve 400 °C’de yüksek sıcaklığa maruz bırakılan numune vermiştir. Kablo atığı miktarındaki artış, 200 °C ve 400 °C’de yüksek sıcaklığa maruziyet sonucunda numunelerdeki eriyen kabloların oluşturduğu boşluklar dayanımı azaltıcı etki göstermiştir.

200 °C ve 400 °C’deki yüksek sıcaklık deneyi öncesi ve sonrasında numunelerin ağırlık değerlerine bakıldığında, 400 °C’de yüksek sıcaklığa maruz bırakılan numunelerde ağırlık kaybının daha yüksek olduğunu söylemek mümkündür.

4) Su emme yüzdesi en fazla olan numune, içerisinde %30 oranında atık kablo ile %30 oranında uçucu külün bulunduğu harç karışımı olmuştur. Burada dikkat çeken durum bu numunenin su emme yüzdesinin, kontrol numunesinin su emme yüzdesinden fazla olmasıdır.

Atık kablo oranının %10 olduğu numuneler ile hiç atık kablo bulunmayan numunelerin su emme yüzdelere bakıldığında, uçucu kül eklenmesinin su emme yüzdelere azalmaya sebep olduğunu söyleyebiliriz. Bu durum harç karışımında %20 ve %30 oranında atık kablo bulunduran numuneler için tam tersi sonuç doğurmuştur.

5) Donma-Çözülme deneyine maruz bırakılan numunelerin basınç dayanım değerlerine bakıldığında, tüm numunelerin dayanım değerlerinin kontrol numunesinin dayanım değerinden az geldiğini söyleyebiliriz.

Atık kablo ve uçucu kül miktarındaki artışın dayanımı azalttığı görülmektedir. Özellikle %30 oranında uçucu külün bulunduğu numunelerin dayanım değerlerinde bariz düşüşler yaşanmıştır.

Donma-Çözülme deneyi uygulanan numunelerin basınç dayanım değerleri ile kontrol numunelerinin basınç dayanım değerleri karşılaştırıldığında, donma-çözülme deneyi uygulanan numunelerin basınç dayanım değerlerinin kontrol numunelerinkinden daha az geldiğini söyleyebiliriz. Buradan donma-çözülme olayının basınç dayanımını olumsuz etkilediği kanısına varılmaktadır.

6) Hiçbir işlem uygulanmayan, kontrol olarak seçilen küp numunelerin basınç dayanım değerlerine bakıldığında, en yüksek dayanım değerini içerisinde kablo atığı olmayan ve %20 oranında uçucu külün bulunduğu harç karışımlı numune vermiştir.

Atık kablo miktarı arttıkça, numunelerin basınç dayanımlarında azalma meydana gelmiştir.

Bu sonuçlara ilave olarak prizmatik ve küp numunelerin hazırlanışı esnasında atık kablo miktarındaki artışın sertleşme süresini de arttırdığı görülmüştür. Ayrıca atık kablo miktarı arttıkça harç karışımı daha katı bir hal almıştır. Buna bağlı olarak karışımın kıvamının yüksek olduğunu söyleyebiliriz.

Yapılan bu çalışma ile ilgili şunlar söylenebilir:

- Öğütülmüş kablo atığının, kum ile yer değiştirilerek kullanıldığı harç numuneleri üretiminde, uçucu kül haricinde endüstriyel atık olan yüksek fırın cürufu, silis dumanı gibi farklı mineral katkıları da kullanılarak, kablo atıklı harç numuneler üzerindeki etkileri araştırılabilir.

- Yapılan çalışmalar, harç numuneleri yerine beton numuneler üzerinde gerçekleştirilerek, değişen ve büyüyen kablo atıklarının beton dayanımına olan etkisi araştırılabilir.

- Yapılan deneysel çalışmalar dışında, priz süresi tayini, rötre tayini, elastisite modülü ve aşınma tayini gibi diğer deneylerde uygulanarak kapsamlı bir çalışma yapılabilir.

- Kp numunelerde prizmatik numuneler gibi 2, 7, 28, 56 ve 90 günlük zaman aralıklarında basınç dayanımı deneyine tabi tutularak, boyut değişiminin dayanıma olan etkisi araştırılabilir.



8. KAYNAKLAR

- [1] Kaçtıoğlu, S. ve Şengül, Ü., “Erzurum Kenti Ambalaj Atıklarının Geri Dönüşümü İçin Tersine Lojistik Ağı Tasarımı ve Bir Karma Tam Sayılı Programlama Modeli”, *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 24 (1), (2010).
- [2] Muşdal, H., “Tıbbi Atıkları İşleme ve Bertaraf Etme Teknolojisi Seçme Problemine Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi ve Bulanık Analitik Ağ Prosesi Yaklaşımı”, *Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, (2007).
- [3] Sayar, Ş., “Kentleşme Sakarya İli Entegre Atık Yönetimi Ve Ambalaj Atıklarının Geri Dönüşümü”, *Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü*, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Sakarya, (2012).
- [4] Chartier, Y., Emmanuel, J., Pieper, U., Prüss, A., Rushbrook, P., Stringer, R., “et al.” (Eds), *Safe Management of Wastes From Health-Care Activities*, World Health Organization, Cenevre: WHO, (1999).
- [5] Güler, N., Kentleşme Sürecinde Katı Atık Yönetimi Ve Kocaeli Örneği, *Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, Siyaset Bilimi ve Kamu Yönetimi Anabilim Dalı, Kocaeli, (2008).
- [6] Peker, A., Amasya İli Eski Ve Yeni Katı Atık Yönetiminin İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Samsun, (2012).
- [7] Palabıyık, H. ve Altunbaş, D., “Kentsel Katı Atıklar ve Yönetimi”, *Çevre Sorunlarına Çağdaş Yaklaşımlar: Ekolojik, Ekonomik, Politik ve Yönetimsel Perspektifler*, 103-124, (2004).
- [8] Çevre Bakanlığı, “Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği”, Türkiye Cumhuriyeti Çevre Bakanlığı, (2005).

- [9] Özencam, “Plastik Atıklar ve Geri Dönüşüm”, (23 Nisan 2019), <http://www.ozencam.com.tr/Faaliyetler/158-plastik-atiklar-ve-geri-donusum.aspx>, (2016).
- [10] Sarıgül, T., “Plastikler Dünya’yı Nasıl Değiştiriyor”, (23 Nisan 2019), <http://www.bilimgenc.tubitak.gov.tr/makale/plastikler-dunyayi-nasil-degistiriyor>, (2018).
- [11] Siddique, R., Khatib, J. and Kaur, I., “Use of recycled plastic in concrete: A review”, *Waste Management*, 28(2008), 1835-1852, (2007).
- [12] Sıfır Atık ve Ambalaj Atıkları Yönetimi Şube Müdürlüğü, “Ambalaj Ve Ambalaj Atıkları İstatistikleri”, *Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, Sıfır Atık Yönetimi Dairesi Başkanlığı*, 14, (2019).
- [13] EPA, “Report on Plastics”, *Environmental Protection Agency, USA*, (2003).
- [14] Recycling and Resource Recovery Council, “Uses of Plastics and Recycled Plastics”, *Recycling and Resource Recovery Council, Australia*, (1994).
- [15] Atık Sahası, “Atık Lastiklerin(Ömrünü Tamamlamış Lastikler) Geri Dönüşüm Sektöründeki Önemi”, (22.04.2019), <http://atiksahasi.com/Atik-Lastiklerin-Omrunu-Tamamlamis-Lastikler-Geri-Donusum-Sektorundeki-Onemi-38>, (2014).
- [16] Karakule, F. ve Akakın, T., “Hazır Beton Sektörünün Gelişimi”, *Deprem Sempozyumu, Kocaeli*, 845-856, (2005).
- [17] Gönen, T., Onat, O., Cemalgi, S., Yılmaz, B. ve Altuncu, Y. T., “Beton Teknolojisi İçin Yeni Atık Malzemeler Üzerine Bir İnceleme”, *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 8 (1), 36-43, (2012).
- [18] Akçaözöğlü, S., Atış C. D. ve Akçaözöğlü K., “An Investigation on the Use of Shredded Waste PET Bottles as Aggregate in Lightweight Concrete”, *Waste Management*, 30 (2), 285-290, (2009).

- [19] Li, G., Abadie, C., Garrick, G., Eggers, J., Stubblefield, M. A. and Pang, S. S., “Waste Tire Fiber Modified Concrete”, *Composites Part B Engineering*, 35 (4), 305-312, (2004).
- [20] Aiello, M. A. and Leuzzi, F., “Waste Tyre Rubberized Concrete: Properties at Fresh and Hardened State”, *Waste Management*, 30 (8-9), 1696-1704, (2010).
- [21] Al-Manaseer, A. A. and Dalal, T. R., “Concrete containing plastic aggregates”, *Concrete International*, 19 (8), 47-52, (1997).
- [22] Akçaözoğlu, S., “Atık Pet Şişe Kırıklarının Hafif Beton Agregası Olarak Kullanılabilirliği”, Doktora Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı*, Adana, (2008).
- [23] Şahin, S., Karaman, S. ve Örüng, İ., “Atık PVC Katkılı Hafif Betonların Özellikleri ve Tarımsal Yapılarda Kullanım Olanakları”, *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 20074 (2), 137-144, (2007).
- [24] Binici, H., Alma, M. H., Gemci, R. ve Durgun, M.Y., “Atık Polietilen (PE) bardaklardan üretilen çimentosuz harçların fiziksel ve mekanik özellikleri”, *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 7 (1), 71-79, (2011).
- [25] Yılmaz, A. and Degirmenci, N., “Possibility of using waste tire rubber and fly ash with Portland cement as construction materials”, *Waste Management*, 29 (5), 1541-1546, (2008).
- [26] Hassani, A., Ganjidoust, H. and Maghanaki, A. A., “Use of Plastic Waste (Polyethylene Terephthalate) In Asphalt Concrete Mixture as Aggregate Replacement”, *Waste Management & Research*, 23, 322-327, (2005).
- [27] Babu, D. S. and Babu, G. K., “Behaviour of Lightweight Expanded Polystyrene Concrete Containing Silica Fume”, *Cement and Concrete Research*, 33, 755-762, (2003).
- [28] Engin, Y., “Beton ve Çimento Tarihi”, (14 Nisan 2019), <http://www.betonvecimento.com/beton-2/beton-ve-cimento-tarihi>, (2015).

- [29] Yiğiter, H., “Yapı Malzemesi 2”, (14 Nisan 2019), <http://kisi.deu.edu.tr/huseyin.yigiter/>, (2016).
- [30] TS EN 197-1, “Genel Çimentolar- Bölüm 1: Genel Çimentolar - Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri”, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara, (2002).
- [31] 582YIM412, “Çimento Özgül Ağırlık Ve Tane Büyüklüğü Tayini”, T.C. Milli Eğitim Bakanlığı İnşaat Teknolojisi, Ankara, (2012).
- [32] Akçansa, “Çimentonun Hidratasyonu”, (14 Nisan 2019), http://www.akcansa.com.tr/docs/20120216160047_teknik-notlar-3.pdf, Teknik Notlar 3, (2017).
- [33] Taylor, P. C., Kosmatka, S. H. and Voigt, G. F., “Integrated Materials and Construction Practices for Concrete Pavement: A State-of-the-Practice Manual”, *Center for Transportation Research and Education Iowa State University*, HIF - 07 - 004, 69-104, (2007).
- [34] Postacioğlu, B., Beton (Bağlayıcı Maddeler), 1, İstanbul: Matbaa Teknisyenleri Basımevi, (1986).
- [35] TS EN 196-1, “Çimento Deney Metotları-Bölüm 1: Dayanım Tayini”, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara, (2002).
- [36] Özdemir, M., “Kayaç Mukavemetinin Beton Dayanımına Etkileri”, Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Adana, (2006).
- [37] Yılmaz, Y., “Beton Üretiminde Uçucu Kül Ve Yüksek Fırın Cürufu Kullanılmasının Etkileri Ve Maliyet Analizi”, Yüksek Lisans Tezi, *Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı, Tekirdağ, (2014).
- [38] Mutuk, T., “Nano Boyutta Toz Katkılı Çimentoların Fiziksel-Mekanik ve Mikroyapı Özelliklerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Anabilim Dalı, Samsun, (2013).

- [39] Akçaözoğlu, K., “Silis Dumanı İçeren Yüksek Dayanımlı Harçlarda Numune Boy Değişiminin Basınç Dayanımı Ve Birim Kısılma Üzerindeki Etkisi”, Doktora Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Adana, (2007).
- [40] Koca, C., “Yüksek Performanslı Beton Üretiminde Mikrosilis, Curuf, Klinker Karışımı Çimento Kullanımı”, *4. Ulusal Beton Kongresi Beton Teknolojisinde Mineral ve Kimyasal Katkılar Bildiri Kitabı*, İstanbul, 381-397, (1996).
- [41] Erdoğan, T. Y., *Beton*, Ankara: ODTÜ Geliştirme Vakfı ve Yayıncılık A.Ş., (2003).
- [42] Felekoğlu, B., “Puzolanlar, Betonarmenin Kalıcılığı, Durabilite, Dayanıklılık”, (23 Nisan 2019), <http://kisi.deu.edu.tr/burak.felekoglu/ymII-2a.pdf>, (2017).
- [43] Öztürk, A. U., “Yapı Malzemesi, Puzolanlar”, (23 Nisan 2019), http://insaatmuh.cbu.edu.tr/db_images/file/yapi-malzemesi-puzolanlar-4116TR.pdf, (2015).
- [44] Gündeşli, U., “Uçucu Kül, Silis Dumanı Ve Yüksek Fırın Cürufunun Beton Ve Çimento Katkısı Olarak Kullanımı Üzerine Bir Kaynak Taraması”, Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Adana, (2008).
- [45] Biymed, “Pişmiş Şist Nedir? Ne Demektir?”, (23 Nisan 2019), <https://www.biymed.com/forum/mesleki-teknik-terimler-sozlugu/insaat-terimleri/pismis-sist.html>, (2018).
- [46] Bozkır, H., “Çimento ve Çimento Türleri”, *Beton ve Beton Bileşenleri Semineri*, Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, Çanakkale, (2012).
- [47] Neville, A. M., *Properties of Concrete*, New York: Longman Scientific & Technical , (1981).
- [48] Mehta, P. K., *Concrete-Structure, Properties and Materials*, New Jersey: Prentice-Hall, (1986).

- [49] Güler, G., Güler, E., İpekoğlu, Ü., Mordoğan, H., “Uçucu Küllerin Özellikleri ve Kullanım Alanları”, *Türkiye 19. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Fuarı*, İzmir, 419-423, (2005).
- [50] Enerji İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü, “Türkiye Uçucu Küllerinin Özellikleri”, Enerji İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü Yayınları, 82, Ankara, 21-28, (1982).
- [51] Tokyay, M., “Betonda Uçucu Kül Kullanımı (Türkiye Deneyimi)”, *Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanımı Sempozyumu*, Ankara, 29-36, (1993).
- [52] ACI Committee, “Use of Fly Ash in Concrete”, *ACI Materials Journal*, 84, 381-409, (1987).
- [53] ASTM C 618, “Specification for Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for use as a mineral admixture in Portland Cement Concrete”, ASTM, (1991).
- [54] Kefelioğlu. S., “Türkiye Uçucu Küllerinin Özellikleri ve Kullanılma İmkanları”, *Teknoloji Dergisi*, (1998).
- [55] TS EN 450, “Uçucu Kül, Betonda Kullanılan Tarifler, Özellikler ve Kalite Kontrolü”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, (1998).
- [56] Görhan, G., Kahraman, E., Başpınar, M. S. ve Demir, İ., “Uçucu Kül Bölüm II: Kimyasal, Mineralojik ve Morfolojik Özellikler”, *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 5(2), 33-42, (2009).
- [57] Ecoba, “Information Bulletin”, *Ecoba Publicition*, Italy, (2001).
- [58] Verma, C. L., Handa, S. K., Jain, S. K., Yadav, R. K., “Techno-commercial Perspective Study for Sintered Fly Ash Lightweight Aggregates in India”, *Construction and Building Materials*, 12 (6-7), 341-346, (1998).
- [59] Akman, M. S., *Yapı Malzemeleri*, İstanbul: İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Matbaası, (1987).

- [60] Olek, J. and Diamond, S., “Proportioning of Constant Paste Composition Fly Ash Concrete Mixes”, *ACI Materials Journal*, 86, 159-165, (1989).
- [61] Schießl, P. and Härdtl, R., “The Change of Mortar Properties as Result of Fly Ash Processing”, *Supplementary Papers of Third CANMET/ACI International Conference on Fly Ash, Silica Fume, Slag and Pozzolans in Concrete*, Norway, 277-294, (1989).
- [62] Berry, E. E. and Malhotra, V. M., *Fly Ash in Concrete*, Canada. Dept. of Energy, Mines and Resources: Canada Centre for Mineral and Energy Technology, (1986).
- [63] Erdoğan, T. Y., “High-Lime Fly Ash Concretes”, *First International Conference on Concrete Structures*, Ankara, 4-9, (1996).
- [64] Sivasundaram, V., Carette, G. G. and Malhotra, V. M., “Properties of Concrete Incorporating Low Quantity of Cement and High Volumes of Low-Calcium Fly Ash”, *Proceedings of Third International Conferences on Fly Ash, Silica Fume, Slag and Puzolans in Concrete*, 1, Norway, 45-73, (1989).
- [65] Barrow, R. S., Hadchiti, K. M., Carrasquillo, P. M. and Carrasquillo, R. L., “Temperature Rise and Durability of Concrete Containing Fly Ash”, *Proceedings of Third Int. Conf. on Fly Ash, Silica Fume, Slag and Puzolans in Concrete*, 1, Norway, 331-347, (1989).
- [66] Tuygun, C. S., “Çayırhan Uçucu Külünün Betonun Mekanik Özelliklerine Etkisi Ve Etkinlik Faktörünün İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, (2002).
- [67] Özturan, T., “Uluslararası IV. CANMET-ACI Betonda Uçucu Kül, Silis Dumanı, Cüruf ve Doğal Puzolanların Kullanımı Konferansının Değerlendirilmesi”, *Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Sempozyumu*, Ankara, 57-78, (1993).

- [68] Neville, A. M. and Brooks, J. J., “Concrete Technology”, *Longman Scientific and Technical*, USA, 438, (1993).
- [69] Atış, C. D., “Heat Evolution and Drying Shrinkage of Concrete Containing High Volume Fly Ash”, *Proceedings of Second International Symposium in Cement and Concrete Technology in the 2000's*, İstanbul, 359-369, (2000).
- [70] Gökçe, A., Çiçekli, O. C., Uyan, M. ve Öztekin, E., “Uçucu Küllü Betonların Mekanik Özellikleri Üzerine Bir Deneysel Çalışma”, *TMMOB. 4. Ulusal Beton Kongresi, Beton Teknolojisinde Mineral ve Kimyasal Katkılar*, İstanbul, 223-232, (1996).
- [71] Anuk, O., “Cem I 42.5 Çimentolu Düşük Dozajlı Betonlarda F Tipi Uçucu Külün Etkinliği”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, (2004).
- [72] Atış, C. D., Tartıcı, H., Sevim, U. K., Özcan, F., Akçaözoğlu, K. ve Yüzgeç, C., “Afşin-Elbistan Uçucu Külünün Beton Katkısı Olarak Kullanılabilirliği”, 5. *Uluslararası İnşaat Mühendisliğinde Gelişmeler Kongresi*, İstanbul, 161-168, (2002).
- [73] Giaccio, G., Violini, D., Zappitelli, J. and Zerbino, R., “Compressive Strength and Elastic Properties of Fly Ash Concrete Elaborated with Different Cement Types”, *Supplementary Papers of Third CANMET/ACI International Conference on Fly Ash, Silica Fume, Slag and Pozzolans in Concrete*, Norway, 188-202, (1989).
- [74] Mehta, P. K. and Gjörv, O. E., “Properties of Portland Cement Concrete Containing Fly Ash and Condensed Silica Fume”, *Cement and Concrete Research*, 12, 587-595, (1982).
- [75] TS EN 450-1, “Uçucu Kül - Betonda Kullanılan - Bölüm 1: Tarif, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, (2013).
- [76] Erdoğan, T. Y., “Karışım ve Bakım Suları”, *Türkiye Hazır Beton Birliği*, İstanbul, 67, (1995).

- [77] Gavela, S., Karakosta, C., Nydriotis C., Kaselouri-Rigopoulou, V., Koliyas, S. and Tarantili, P., “A Study of Concretes Containing Thermoplastic Wastes as Aggregates”, *Conference on the Use of Recycled Materials in Building and Structures*, 911-918, (2004).
- [78] Özturan, T., “Beton Üretiminde Uçucu Kül Kullanımının İrdelenmesi”, *TMMOB Türkiye İnşaat Mühendisliği XI. Teknik Kongresi Bildiriler Kitabı*, Kardeşler Matbaacılık, 1, 149-158, (1991).
- [79] Uysal, A., “Yüksek Sıcaklığın Beton Üzerindeki Etkileri”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, (2004).
- [80] TS 706, “Beton Agregaları”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, (1980).
- [81] Karahan, O., “Liflerle Güçlendirilmiş Uçucu Küllü Betonların Özellikleri”, Doktora Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Adana, (2006).