



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

CAMPET KATKILI KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN HARÇLARIN MEKANİK  
ÖZELLİKLERİ

SELAHATTİN ADIN

Eylül, 2019



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

CAMPET KATKILI KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN HARÇLARIN MEKANİK  
ÖZELLİKLERİ

SELAHATTİN ADIN

Yüksek Lisans Tezi

Danışman

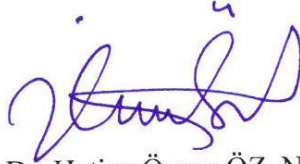
Doç. Dr. Sevgi DEMİREL

Eylül, 2019

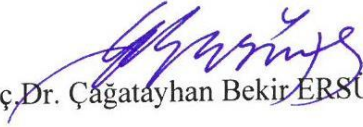
151909009 numaralı Selahattin ADIN tarafından Doç. Dr. Sevgi DEMİREL danışmanlığında hazırlanan “CampET Katkılı Kendiliğinden Yerleşen Harçların Mekanik Özellikleri” adlı bu çalışma jürimiz tarafından Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.



Başkan : Doç. Dr. Sevgi DEMİREL, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi



Üye : Doç. Dr. Hatice Öznur ÖZ, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi



Üye : Doç. Dr. Çağatayhan Bekir ERSÜ, Çukurova Üniversitesi

**ONAY:**

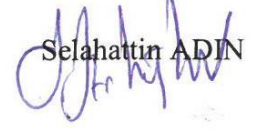
Bu tez, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca belirlenmiş olan yukarıdaki jüri üyeleri tarafından ....../....../20.... tarihinde uygun görülmüş ve Enstitü Yönetim Kurulu’nun ....../....../20.... tarih ve ..... sayılı kararıyla kabul edilmiştir.

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

**Prof. Dr. Murat BARUT**  
**MÜDÜR V.**

## TEZ BİLDİRİMİ

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

  
Selahattin ADIN

## ÖZET

### CAMPET KATKILI KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN HARÇLARIN MEKANİK ÖZELLİKLERİ

ADIN, Selahattin

Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman

: Doç. Dr. Sevgi DEMİREL

Eylül 2019, 37 sayfa

Doğal kaynakların korunması ve endüstriyel atıkların azaltılması amacıyla sürdürülebilir bir atık yönetimi yaklaşımının önemi giderek artmaktadır. Atık malzemelerin değerlendirilebileceği yeni alanlar ve yöntemler oluşturmak bilim dünyasının önemli araştırma alanlarından biri haline gelmiştir. Doğal kaynakların sınırlı olması, geri dönüşüm uygulamalarının özellikle inşaat sektöründe potansiyel bir hammadde kaynağı olarak kullanımı alternatifini ortaya çıkarmıştır. Endüstriyel atıkların (UK, mermer tozu, atık cam ve plastik vb.) inşaat sektöründe kullanılması, atıkların güvenli bir şekilde bertarafının yanında hammadde ve enerji kullanımını azaltmaktadır. Bu çalışmanın amacı, CamPET'in tüketiminden sonra ikincil bir hammadde olarak inşaat sektöründe kullanılabilirliğinin araştırılmasıdır. Bu amaçla, atık camPET ve uçucu külün kendiliğinden yerleşen harç (KYH) üretiminde kullanımının, fiziksel ve mekanik özelliklere etkisi incelenmiştir.

*Anahtar Sözcükler:* PET, Cam/PET, atık malzeme, geri kazanım, sürdürülebilirlik, endüstriyel simbiyoz, CO<sub>2</sub> emisyonu, kendiliğinden yerleşen harç

## SUMMARY

### THE USE OF WASTE MATERIALS TO PRODUCE SELF COMPACTING MORTAR

ADIN, Selahattin

Ömer Halisdemir University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Enviromental Engineering

Supervisor : Associate Professor Dr. Sevgi DEMİREL

September 2019, 37 Pages

The importance of a sustainable waste management approach in order to protect natural resources and reduce industrial wastes is becoming increasingly important. Creating new areas and methods in which waste materials can be evaluated has become one of the important research areas of the scientific world. The limited use of natural resources has led to the use of recycling as a potential source of raw materials, especially in the construction sector. The use of industrial wastes (fly ash, marble dust, waste glass and plastic, etc.) in the construction sector reduces waste and safe use of raw materials and energy. The aim of this study is to investigate the utility of CamPET as a secondary raw material in the construction sector after consumption. For this purpose, the effect of the use of waste glassPET and fly ash in the production of self-compacting mortar (SCM) on physical and mechanical properties was investigated.

*Keywords:* PET, Glass / PET, waste material, recovery, sustainability, industrial symbiosis, CO<sub>2</sub> emissions; self-compacting mortar

## ÖN SÖZ

Gelişen yaşam koşulları ve ilerleyen teknolojiler insanlık için yeni hammadde ve yeni kaynak arayışı ihtiyacı doğurmuştur. Yeni kaynaklara ihtiyaç duyulmasıyla birlikte oluşan atığın bertaraf edilmesi veya yok edilmesi ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Kaynağın sınırlı olması atığın bertaraf edilme ihtiyacı, geri kullanımını ve kaynağında bertaraf etme yöntemlerine ve daha az atık oluşturan proseslere yönelimi sağlamıştır.

Çimento inşaat sektöründe kullanımı en fazla olan bileşenlerden biridir. Çimento, üretimi sırasında aşırı enerji tüketimi, atmosfere yapılan CO<sub>2</sub> salınımı ve diğer emisyonlar nedeniyle çok fazla eleştiri almakta ve bu zararlı etkilerini en aza indirmek için bilim camiasında yoğun bir şekilde araştırılmaktadır. Bu çalışma, çimento kullanım oranını azaltmaya yönelik alternatif malzeme arayışının bir örneğidir. Böylece hem çimentodan kaynaklanan doğal kaynak kullanımını azaltmak hem de atığın depolama probleminde alternatif bir çözüm sunmak hedeflenmiştir.

Bu çalışmanın deneysel aşamalarında benden desteğini esirgemeyen Doç. Dr. Hatice Öznur ÖZ hocama ve Arş. Gör. Muhammet GÜNEŞ hocama ve bütün aşamalarda benden desteğini esirgemeyen pek değerli hocam sayın Doç. Dr. Sevgi DEMİREL'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.



## İÇİNDEKİLER

ÖZET .....	iv
SUMMARY .....	v
ÖN SÖZ .....	vi
İÇİNDEKİLER .....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	x
SİMGE VE KISALTMALAR .....	xi
BÖLÜM I GİRİŞ .....	1
1.1 Amaç .....	1
1.2 Literatür Özeti .....	5
1.3 Çimento Üretimi .....	7
1.4 Çimento Üretimi İle İlgili Çevresel Endişeler .....	9
1.5 Kendiliğinden Yerleşen Betonun Özellikleri .....	10
1.6 Atık Malzemelerin İnşaat Sektöründe Kullanımı .....	11
1.6.1 Atık plastiklerin kullanımı .....	12
1.6.2 Atık cam kullanımı .....	13
1.6.3 Uçucu kül (UK) kullanımı .....	13
1.6.4 Atık lastiklerin kullanımı .....	14
1.6.5 Mermer tozu kullanımı .....	14
BÖLÜM II MATERYAL VE METOT .....	15
2.1 Kullanılacak Malzemelerin Seçilmesi ve Özelliklerinin Belirlenmesi .....	15
2.2 KYH Karışımlarının Hazırlanması .....	16
2.3 Deney Yöntemleri .....	16
2.3.1 KYH'ın taze özelliklerinin belirlenmesi .....	16
2.3.2 KYH karışımlarının sertleşmiş haldeki özelliklerinin belirlenmesi .....	17
2.3.3 Mikroyapısal ve termal özelliklerin belirlenmesi .....	18
BÖLÜM III BULGULAR VE TARTIŞMA .....	19
3.1 Kullanılan Malzemelerin Seçilmesi ve Özelliklerinin Belirlenmesi .....	19
3.2 KYH Karışımlarının Üretilmesi ve Taze Özelliklerinin Belirlenmesi .....	20
3.2.1 Yayılma ve mini v-hunisi akış zamanı deneyi .....	20

3.2.2 Birim ağırlık, basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve ultra ses yayılma hızı (UPV) .....	21
3.2.3 Mikroyapısal ve termal analizler .....	24
3.2.3.1 SEM/EDX .....	24
3.2.3.2 TGA/DTA .....	25
BÖLÜM IV SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	28
KAYNAKLAR .....	29
ÖZ GEÇMİŞ .....	37



## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Türkiye katı atık kompozisyonu .....	2
Çizelge 2.1. KYH'ın karışım oranları.....	16
Çizelge 3.1. PÇ, UK ve CamPET'in kimyasal bileşenleri ve fiziksel özellikleri.....	19



## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Çimento üretim prosesi.....	8
Şekil 1.2. Türkiye'deki çimento fabrikaları.....	9
Şekil 2.1. CamPET'in öğütme aşamaları.....	15
Şekil 2.2. Yayılma testi.....	17
Şekil 2.3. Mini V hunisi.....	17
Şekil 3.1. UK ve CamPET'e ait SEM görüntüleri.....	20
Şekil 3.2. KYH'lerin mini-slump yayılma çapı.....	21
Şekil 3.3. KYH'lerin mini-v hunisi akış süresi.....	21
Şekil 3.4. KYH'lerin sertleşmiş birim ağırlığı.....	22
Şekil 3.5. KYH'lerin basınç dayanımı.....	22
Şekil 3.6. KYH'lerin eğilme dayanımı.....	23
Şekil 3.7. KYH'lerin ultrasonik titreşim hızı.....	24
Şekil 3.8. CP0 (a), CP9'un (b) SEM ve CP0 (c) ve CP9'un (d) EDX sonuçları.....	25
Şekil 3.9. CP0 (a) ve CP9 (b) numunelerinin TGA/DTA sonuçları.....	27

## SİMGE VE KISALTMALAR

### Simgeler

q

### Açıklama

Birim debi

### Kısaltmalar

3R

Reduce, Reuse, Recycle

BTEX

Ksilen

CO

Karbon monooksit

CP

CamPET

DTA

Diferansiyel Termal Analiz

EDX

X-Ray spektroskopisiyle

HCl

Hidrojen Klorür

IPCC

Intergovernmental Panel on Climate Change

KYB

Kendiliğinden Yerleşen Beton

KYH

Kendiliğinden Yerleşen Harç

PAH

Poliaromatik Hidrokarbonlar

PCDD

Poliklorlu dibenzo-p-dioksinler

PCDF

Dibenzofuranlar

PÇ

Portland Çimento

PET

Polietilen Tereftalat

PVC

Polivinil Klorür

SEM

Taramalı Elektron Mikroskobu

TGA

Termogravimetrik Analiz

TÜİK

Türkiye İstatistik Kurumu

UK

Uçucu Kül

VOC

Uçucu Organik Bileşikler

XRF

X-Ray Fluorescence

YDA

Yaşam Döngü Analizi

# BÖLÜM I

## GİRİŞ

### 1.1 Amaç

TÜİK verilerinde göre Türkiye'deki nüfus artış hızının neticesi olarak, 2030 yılında nüfusun 88,4 milyona ulaşması beklenmektedir (URL 1, 2017). Sanayinin gelişmesi ve teknoloji şartlarının ilerlemesi ile enerji temini ve katı atık yönetimi alanında araştırmalar artmıştır. Avrupa Birliğine uyum sürecinde ilerleyen ülkemizde ambalaj atıkları; kaynağında ayrı toplanma, taşınma ve ayrıştırılmasına ilişkin belli bir sistem içerisinde teknik ve idari standartların oluşturulması, tekrar kullanılabilmesi, geri dönüştürülebilmesi ve geri kazanılabilmesi amacıyla "Ambalaj Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği" uygulanmaktadır. Bu bağlamda Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı tarafından hazırlanan, 2014-2017 Geri Dönüşüm Strateji Belgesi'nde; mevcut kaynakların en verimli ve etkin şekilde kullanılarak geri dönüşümün ekonominin en önemli parçalarından biri haline getirilerek bilinçli üretim ve tüketim kültürünün oluşumunu sağlamak" amaçlanmıştır (URL 2, 2017). Ülkemizde katı atıkların % 20'sini, hacimce % 50'sini ambalaj atıkları oluşturmaktadır. Piyasada mevcut bazı bazı geri dönüşüm firmaları ambalaj atıklarının geri kazanımını ancak lisans alarak belirli disiplin altında yapabilmektedir. 2014 yılı içerisinde yapılmış olan belediye atık istatistikleri anketine göre şahıs başına üretilen atık miktarı 1,08kg/kişi-gün olarak belirlenmiştir. Türkiye istatistik kurumu(TÜİK) tarafından yapılan uluslar arası bir araştırma sonucu geri kazanılabilir evsel kaynaklı katı atıkların oranı %12,05 olup, bunlar kağıt, karton, metal, cam, plastik, PET, PVC, lastik, kauçuk ve tekstil ürünlerinden oluştuğu belirtilmiştir. (Çizelge 1.1.) (Demirarslan ve Demirarslan, 2016).

**Çizelge 1.1.** Türkiye katı atık kompozisyonu (Demirarslan ve Demirarslan, 2016)

<b>Atık Cinsi</b>	<b>%</b>
Organik Atık (mutfak, park, bahçe)	65.45
Kül, cüruf, taş, toprak	22.48
Geri kazanılabilir malzeme	12.05
Toplam	99.98
<b>Geri Kazanılabilir Malzeme Kompozisyonu</b>	<b>%</b>
Kâğıt, karton	45.48
Metal	8.62
Cam	18.46
Plastik	13.19
PET, PVC	6.15
Lastik, kauçuk	3.35
Tekstil	4.88

Ülkemizde, eğer mümkünse atığın kaynağında önlenmesi eğer mümkün değilse atığın minimum seviyede tutulması veya atığın oluşumu kaçınılmaz ise atığın geri kazanıma tabi tutularak, doğal kaynak kullanımının azaltılarak ekonomiye katkıda bulunma amacı atık yönetim stratejisi olarak belirlenmiştir. Bu strateji ile ülkemizde mevcut doğal kaynak kullanımının azaltılarak, enerjinin verimli ve etkin kullanımı ile çevresel atık sorunlarının önüne geçilmesi hedeflenmiştir.

Hammadde olarak kullanılabilirliği olan atıkların ayrıştırılarak toplanması, aktarma istasyonlarında özelliklerine göre ayrıştırılması ve tekrar kullanılabilir hale getirilmesi “geri kazanım” olarak tanımlanmaktadır (URL 2, 2017). Atıkların geri kazanım’a tabi tutularak bir endüstrinin atığının başka bir endüstrinin hammaddesi olarak kullanılması endüstriyel işlem sayısını ciddi şekilde azaltacağından önemli düzeyde enerji tasarrufu sağlar. Örneğin; metal içecek kutularının geri kazanım prosesinde metallerin kaynağında ayrı toplanarak doğrudan eritilmesi ile saflaştırma işlemine gerek kalmaz ve enerji tasarrufu sağlanır(Gürer vd., 2004). Yapı sektöründe de birçok atık türü çimento, beton, agrega, kerpiç, tuğla, gaz beton ve yalıtım malzemesi elde edilmesinde, baraj ile yol yapımında ve geoteknik uygulamalarda kullanılmaktadır (Paris vd., 2016). Bu yöntemler sayesinde hem doğal kaynak kullanımı azalmakta hem de atık depolama sahalarında depolama miktarının azaltılmasıyla olumsuz çevresel etkilerinin de azaltılması sağlanır.

Yeryüzünde en yaygın kullanım hacmine sahip olan bağlayıcı malzeme betondur (Prabhu vd., 2014). En basit haliyle beton; çimento, su, ince ve kaba agrega karışımından oluşmaktadır. Küresel ölçekte, harç ve betonun ana bileşeni olan doğal agrega kullanımı yıllık bazda 8-12 milyon arası bir değere denk gelmektedir ve toplam beton hacminin % 70'i agregadan oluşturmaktadır (Devi ve Gnanavel, 2014; Al-Jabri vd., 2009). Beton eldesinde ihtiyaç duyulan agrega türleri; 4.0 mm'den büyük yani kaba ve 4.0 mm'dan küçük yani ince agrega olmak üzere 2 çeşittir. (Dash vd., 2016). Bazı atık malzemelerin hammadde olarak ince ve kaba agrega yerine kullanıldığı çalışmalar mevcuttur. Çimento, beton eldesinde ihtiyaç duyulan en etkin bağlayıcı malzemedir. Çimentonun eldesi sırasında atmosfere tehlikeli düzeylerde zararlı gaz(sera vb.) salınır. Yer yüzünde var olan çimento üretim tesislerinin tamamının toplamda ürettiği ve atmosfere bıraktığı CO<sub>2</sub> emisyonu, dünyada var olan toplam karbondioksit emisyonunun %5-7 arası bir değere denk gelmektedir (Turner ve Collins, 2013). Çimento eldesi sırasında tesis bacalarından oluşan zararlı gazlar sadece karbondioksit değil, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> ve toksik maddelerdir. Dünya'daki en tehlikeli ve önemli çevresel sorunlardan biri de çimento üretim tesislerinden kaynaklanan toz emisyonlardır. Bu sebepten ötürü bağlayıcı malzeme olarak çimentoya alternatif olabilecek malzemelerin araştırılması, hem atık miktarlarının ciddi oranda azalarak çevresel sorunların azalmasına hem de enerji kullanımının azalmasına yardımcı olacaktır.

Yüksek molekül ağırlıklarına sahip organik moleküller ya da polimerlerin bir araya gelerek oluşturduğu maddeye 'Plastik' denir. İstenilen her türlü biçim ve şekle girebilen bir madde olan Plastiğin, isim kökeni Yunanca olan 'Plastikos' sözcüğünden gelir. Yıllık bazda plastik için dünyada üretilen toplam petrolün %4'ü kullanılmaktadır (Sevencan ve Vaizoğlu, 2007). Dünyanın her yerinde birçok malzemeye(demir, cam, tahta vb.) alternatif olarak kullanılabilen bir malzeme olan plastikler her geçen zaman yeni uygulamalara alternatif olabilmektedir. Plastik maddelerin, diğer maddelere göre hem daha kolay işlenebilmesinden hem de daha ekonomik olmasından dolayı tüketimi daha caziptir. Plastikler günümüzde birçok gıda(su, meşrubat, sıvı yağ vb) maddesinin ambalajlanmasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Pet kullanımı her ne kadar ekonomik ve yaygın olsa da sağlık açısından ciddi endişeler barındırmaktadır. Özellikle uygunsuz koşullarda bekleyen ve yeniden kullanılan PET şişelerin, termal reaksiyonlarla, içindeki sıvıya bazı kanserojen kimyasallar yaydığı hususunda çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmalar neticesinde PET gibi hafif, kırılmaz, dayanıklı ve



kolay taşınabilir sağlık konusunda endişe barındırmayan ambalaj ihtiyacını ortaya çıkarmıştır. “CamPET” kavramı bu şekilde doğmuştur. Ciddi anlamda sağlık endişeleri barından PET malzemenin yerine içi cam, dışı PET olan bu ambalajların gıda ve ilaç sektöründe kullanımının giderek yaygınlaşacağı düşünülmektedir. Dünya genelindeki en önemli çevresel sorunların başında atık plastikler gelmektedir.

Günümüzde hem doğal kaynakların korunması hem de depo alanlarının daha uzun süreli kullanımı amacıyla, geri kazanım ve geri dönüşüm faaliyetleri büyük önem kazanmıştır. Türkiye’de AB Direktifleri doğrultusunda; sürdürülebilir atık yönetiminin, 3R (reduce- azaltım, reuse- yeniden kullanım ve recycle-geri dönüşüm) uygulamaları aracılığıyla ileri bir şekilde desteklenmesi planlanmaktadır (Ulusal Geri Dönüşüm Strateji Belgesi ve Eylem Planı). Atıkların hammadde olarak kullanılması; doğal kaynakların daha az ve etkin kullanılarak çevresel sorunların minimize edilmesine yol açacaktır. Bu sayede enerji tasarrufu sağlanacak ve ekonomik olarak girdi sağlanacaktır. Doğal kaynakların etkin kullanılarak çevrenin korunması amacıyla Geri kazanılan atıkların uygun bir şekilde değerlendirilmesi ve kullanım alanlarının artırılması gerekmektedir. Geri dönüşüm sonucu atıkların, zararlı etkilerinin azaltılması ve enerji tasarrufunun sağlanmasıyla birçok sektörde ikincil hammadde olarak kullanımı giderek yaygınlaşmıştır. Bu sektörler arasında inşaat yapı malzemeleri olan çimento ve beton sektörü önemli bir yer tutmaktadır. Böylece su ve hava kirliliği açısından sorunlu bir süreç olan çimento üretiminin azaltılması alternatifi ortaya çıkabilecektir.

Dünya’daki gelişmeler, hızlı nüfus artışı ve tüketilen ürün miktar/çeşidindeki artışa bağlı olarak ortaya çıkan endüstriyel atık miktarı ve çeşitliliği de artmıştır. Bu atıkların sürdürülebilirlik çerçevesinde başka bir sektörde hammadde olarak kullanımına yönelik çalışmalar giderek yaygınlaşmaktadır. Dünyada en çok kullanılan bağlayıcı yapı malzemelerinin başında çimento gelir. Çimento, üretimi sırasında aşırı enerji tüketimi ve atmosfere yapılan CO<sub>2</sub> salınımı ve diğer emisyonlar nedeniyle çok fazla eleştiri almakta ve bu zararlı etkilerini en aza indirmek için bilim camiasında yoğun bir şekilde araştırılmaktadır (Worrell vd., 2001). Bu çalışmada atık camPET ve uçucu külün kendiliğinden yerleşen harç (KYH) üretiminde kullanılabilirliği deneysel olarak araştırılmıştır.

## 1.2 Literatür Özeti

Dünyada ve ülkemizde, gelişen yaşam koşulları ve artan nüfus ile birlikte gelişmekte olan sanayileşme ve kentleşmenin sonucu olarak endüstriyel atık çeşidi ve sayısı artmıştır. Bir endüstri için atık olan malzemenin başka bir endüstri için hammadde olarak kullanılması 'endüstriyel simbiyoz' olarak adlandırılır. Doğal kaynakların korunup enerjinin verimli ve etkin kullanılmasıyla atık ve çevresel sorunların azaltılmasını hedefleyen bir kavram olan Endüstriyel simbiyoz kavramı kesinlikle desteklenmelidir. Ambalaj atıklarının Kontrolü Yönetmeliği; ambalaj atılarının belirli standartlar çerçevesinde ve belli bir yönetim sistemi içerisinde toplanması amacıyla uygulanmaya başlanmıştır. Bu yönetmelik ile ambalaj atıklarının kaynağında ayrı toplanıp taşınıp ayrışmasına ilişkin standartların oluşturulmasını ve ambalaj atıklarının geri kazanımını kapsar (SGM, 2014). İnşaat sektöründe artan hammadde ihtiyacı ve doğal kaynakların sınırlı olması, başka endüstrilere ait atıkların geri dönüşüm uygulamaları ile hammadde olarak kullanılması alternatifini ortaya çıkarmıştır.

Polimerlerin veya ağır organik moleküllerin birleşmesiyle 'plastikler' meydana gelir. Birbirine kimyasal bağlarla bağlı zincir yapıların yenilenmesiyle Organik moleküller ve polimerler oluşur. Kömür, gaz ve ham petrol plastiklerin kaynağında yer alan maddelerdir. Petrol rafinerisinden arta kalan maddeler genel olarak plastikleri meydana getirir (Oğuz, 2011). Yeryüzünde elde edilen petrolün %4'ü ile plastikler elde edilir (Güney, vd.). Ulusal Geri Dönüşüm Eylem Planı'na göre ülkemizde plastik geri dönüşümü % 30 değerinde olup, bu oranın artırılması hedefler arasında yer almaktadır (SGM, 2014.).

Beton için ihtiyaç duyulan malzemelerden olan çimento ve agrega farklı kaynaklardan temin edilir. Son aşamada betonun uygun şartlarda hazırlanması birçok kalite parametresinin(ekonomi, işlenebilme, mukavemet, dayanıklılık, görünüş vb.) belirlenmesinde etkilidir. Kullanılacak hammadde cinsine göre çeşitli hesaplama metodları geliştirilmiştir. Karışım içerisinde uygulanacak olan çimento su oranı mukavemeti etkileyen en önemli unsurlardandır (Taşdemir, 2003 ).

Plastik çimento hamuru durumdaki çimento, su ve çimentonun ilk karıştırıldığı an olan durumdur. Su ve çimentonun bir araya getirilmesiyle bazı kimyasal reaksiyonlar başlar.

Bu reaksiyonların etkisiyle çimento sertleşmeye başlar ve katı duruma gelir ve plastik hamur özelliğini kaybeder. Bu duruma gelen çimento için geçen bekleme süresine 'priz alma süresi' denir. Bu süreç, 'priz alma süreci' ve 'priz Sonlanma süreci' olarak da ifade edilir. “İncelik” sözcüğü, çimentodaki tanelerin ortalama boyutunu ifade etmektedir. Genellikle tam hidrate olmuş çimento hamurunun dayanımının çimento inceliğinden bağımsız olduğuna inanılmaktadır. Diğer yandan çimentonun inceliği hidrasyonun ilerlemesine ve dayanım gelişimine önemli katkısı vardır. İncelik artışıyla hidrasyonun ilerlemesinde özellikle, kısa hidrasyon süresinin ardından, önemli artış olur ve buna paralel olarak basınç dayanımı’ da artar (Erdoğan, 2003). Beton eldesindeki son aşama kalıba yerleştirilmiş betonun uygun koşullarda bakımı ve kuruyarak sertleşmesini beklemektir. Su ve puzolanik çimentonun kimyasal reaksiyona girmesiyle sertleşme meydana gelir. Beton dökümünden sonra ki birkaç gün betonun sulanıp nemli ortam koşulları sağlanması beton kalitesi, sertleşme kalitesi vb. özellikler için çok önemlidir. Çimento türü ve kalitesi betonun kalitesinin tam olarak sağlanabilmesi için gerekli olan nemli tutma ve sulama süresinin farklı olmasına sebebiyet verir.

İnşaat sektöründe kullanılan betonun her yönden(doğal kimyasal zararlar, fizikokimyasal dış etkenler) dayanıklı olması gerekmektedir. Bu sebeple betonun mukavemetinin artması ve çok dayanıklı olması istenir. Aksi takdirde betonun maruz kalacağı fiziksel ve kimyasal etkiler sonucu dayanıklılığının zayıflaması ve yıkılıp kullanılamaz hale gelmesi kaçınılmaz olur (Erdoğan, 2003).

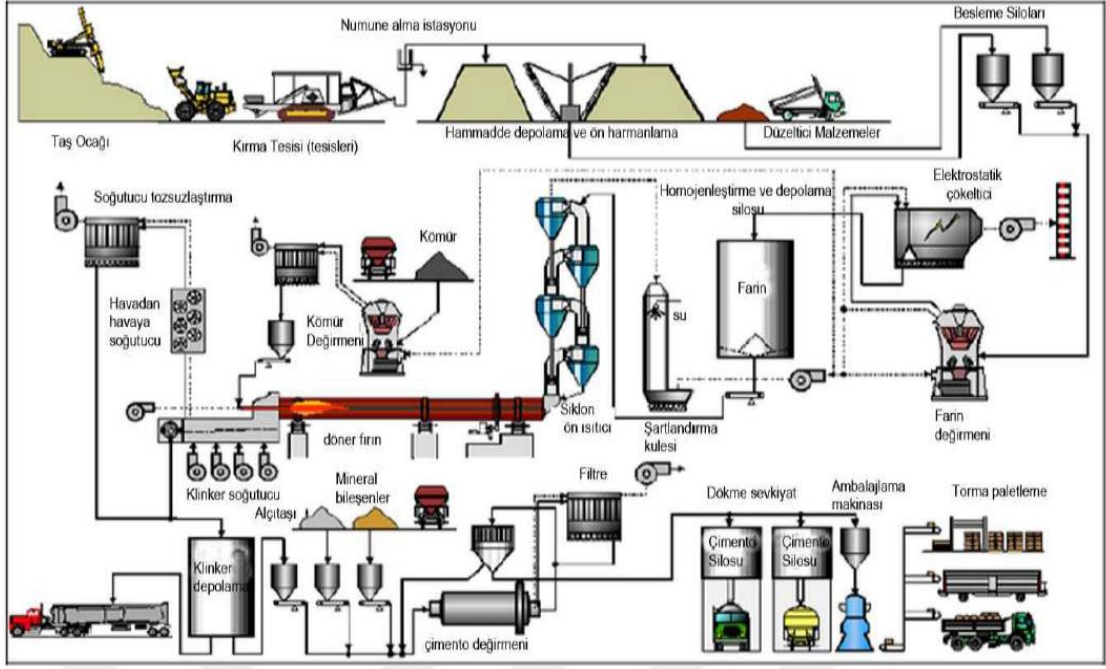
Geri kazanılan atıkların uygun bir şekilde değerlendirilmesi ve kullanım alanlarının artırılması ile nihai hedef olan “doğal kaynakların etkin kullanımı ve çevrenin korunması” amacına ulaşılabacaktır. Günümüzde bu atıkların, zararlı etkilerinin azaltılması, enerji tasarrufunun sağlanması ve geri dönüşüm sonucu çeşitli sektörlerde ikincil hammadde olarak kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Bu sektörler arasında inşaat yapı malzemeleri olan çimento ve beton sektörü önemli bir yer tutmaktadır. Böylece su ve hava kirliliği açısından sorunlu bir süreç olan çimento üretiminin azaltılması alternatifleri ortaya çıkabilecektir.

### 1.3 Çimento Üretimi

Çimento, doğada bulunan taş halinde bulunan kalker ve kilin karıştırılarak, çok yüksek sıcaklara ısıtıldıktan sonra öğütülmesiyle elde edilen hidrolik bağlayıcı bir malzemedir. Bu özellikteki malzemeler üretildikten sonra su içerisinde herhangi bir özelliğini (dağılma, sertlik, mukavemet vb.) kaybetmez ve bağlayıcılık oranını artırır. Günümüz yapı piyasasında çok sayıda türü bulunan çimento, yapı sektörü tarihinde insanoğlunun vazgeçilmez bağlayıcı malzemesidir.

Kalsiyum karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) çimentonun temel hammaddelelerinden biridir. 900 derece sıcaklıkta ayrıştırılan kalsiyum karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ), kalsiyum oksit ( $\text{CaO}$ , kireç) ve karbondioksit ( $\text{CO}_2$ ) oluşumuna sebebiyet verir. Karbondioksit bu ayrışma sırasında havaya salınır. Bu aşamadan sonra, alümin, silis, demiroksit ve kalsiyum oksit 1500 °C'de silikat, alüminat ve kalsiyumferrit oluşturur. Bu ürünler bu aşamadan sonra gerekli diğer katkı maddeleriyle karıştırılarak öğütme işlemine tabi tutulur ve çimento meydana gelir. (Akkurt vd., 2012).

Kaliteli çimento eldesi için, çimento üretim aşamalarının tamamında karışım ürünlerinin karışım seviyesi kontrol edilip gerekli olan düzeyde kalması sağlanmalıdır. Çimento eldesi sırasında gerekli kontrollerin yapılması ve hammadde karışım düzeylerinin kontrolü beton eldesi sırasındaki beton kalitesini etkileyen önemli bir faktördür. (Şekil 1.1) (Cembureau, 2012).



Şekil 1.1. Çimento üretim prosesi (Cembureau, 2012)

Günümüzde Türkiye'de herhangi bir çimento ithal ihtiyacı bulunmayıp kendi ihtiyacını kendi üretimi karşılayabilmektedir. Ülkemizde kentsel dönüşüm projelerinin artması ve inşaat sektörünün sürekli gelişmesi neticesinde çimento sanayisi çok önemli yer tutar. Ülkemiz çimento üretiminde Avrupa kıtasında birinci sırada, dünyada ise beşinci sırada (Çin, Hindistan, ABD ve Brezilya) yer alır. Çimento sanayisi ülkemizde genellikle 3 kıtada (Marmara, İç Anadolu ve Ege Bölgesi) yoğunlaşmıştır. Ancak bu üç kıtaya yoğunlaşmış olmakla birlikte ülke genelinde üretim yapılabilmektedir (Şekil 1.2) (Alyüz, 2013).



Şekil 1.2. Türkiye’deki çimento fabrikaları

#### 1.4 Çimento Üretimi İle İlgili Çevresel Endişeler

Çimento üretiminde emisyon önemli bir konudur. Alyüz (2013) tarafından yapılan tez çalışmasında, çimento sektörünün de içinde yer aldığı birçok sektöre ait endüstriyel emisyon envanteri oluşturulmuş olup, çimento üretiminin en fazla emisyon üreten sektörler arasında yer aldığı ortaya konulmuştur. Çimento eldesi sırasında havaya salınan emisyonlar en zararlı olan emisyonlardır. Bu emisyonlar; çimento eldesi için gerekli maddelerin ve enerji kaynağı için kullanılan malzemelerin yanması sonucu oluşur. Bu emisyonlar kısaca; Azot(N), Karbondioksit(CO<sub>2</sub>), Su buharı ve oksijen ziyadesidir. Antropojenik kaynaklı CO<sub>2</sub> emisyonlarının %5-7’sinin çimento endüstrisinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Çimento sektöründen kaynaklanan CO<sub>2</sub> emisyonu ve enerji tüketimi konusunda oldukça fazla çalışma vardır (Chen vd., 2010). Çimento endüstrisi emisyonlarından azot oksitleri (NO<sub>x</sub>), kükürt dioksit (SO<sub>2</sub>) ve toz ise endişe duyulması gereken diğer emisyonlardır. Bununla birlikte uçucu organik bileşikler(VOC'lar), poliklorlu dibenzo-p-dioksinler (PCDD’ler) ve dibenzofuranlar (PCDF’ler) ile Hidrojen Klorür (HCl) dikkat gerektiren diğer hava kirleticilerdir. Bu emisyonlar için sınır değerler Avrupa Birliği Çerçeve Programının, Entegre Kirlilik Önleme ve Kontrol (Integrated Pollution Prevention and Control-IPPC) Direktifi’nde yer almaktadır (Avrupa Birliği, 2010). Çimento eldesi sırasında ses ve hava kirleticileri

de ortaya çıkabilir. Bununla birlikte depolama ve taşıma kaynaklı koku kirliliği de oluşabilmektedir.

Çimento üretim prosesinin enerji ihtiyaçları, su tüketimi ve ortaya çıkardığı emisyonlar göz önünde bulundurulduğunda, bu sektörün çevre dostu bir süreç olmadığı görülmektedir (Meyer, 2009). Kentsel ve endüstriyel atıkların çimento ile yer değiştirmesi (en azından belli oranlarda), bu sektörün iklim değişikliği gibi çevresel sorunlar üzerindeki negatif etkisinin azaltılmasına katkıda bulunacaktır (Paris vd., 2016). Dolayısıyla tüm dünyada çimento tüketimini azaltacak ya da çimento ikame malzemesi olarak kullanılacak yeni, sürdürülebilirlik yaklaşımına katkıda bulunacak malzeme arayışı vardır.

### **1.5 Kendiliğinden Yerleşen Betonun Özellikleri**

Geleneksel beton dökme işlemlerinde betonun kalıp içerisinde ilerlemesini kolaylaştırmanın yanı sıra betonun içerisindeki hava boşluklarını alarak daha düzgün bir yüzey elde edilmesi vibrasyon işlemi ile sağlanabilir. Bu sayede beton sıkıştırılıp dayanıklılığı artırılmış olur. Gelişi güzel dökülmüş betonların Basınç dayanımı testinde, sıkıştırılıp boşlupunu alınmış betonlara göre % 30'lara varan düşüşler görülmektedir. Vibrasyon işlemin usulünce yapılmış olması oluşabilecek yüzey problemleri ve dayanıklılık sorunlarının önüne geçer. Halbuki kendiliğinden yerleşen beton (KYB), içeriğindeki kayganlaştırıcı bileşenler sayesinde kendine kendine sıkışır ve vibrasyon gerektirmeden daha düzgün yüzeyler elde edilmesini sağlar ve bütün olumsuz etkenleri önler. Bununla birlikte ses kirliliğinin önüne geçerek şehrin içinde ve bilhassa geç saatlerde beton dökme işleminin önü açarak zamandan ve işçilikten tasarruf sağlar. (Gürdal ve Yüceer, 2004). KYB, akıcılığı ve ayrışma direnci yüksek olmakla birlikte şekil değişikliği yeteneği sayesinde üstün davranış özelliğini sağlar. Akıcılığın fazla olması, akışkanlık artırıcı kimyevi maddeler yardımıyla oluşurken, beton kararlılığı yani ayrışma direnci, yüksek oranda ince malzeme kullanıp yüksek oranda viskozite sağlayan maddeler tercih edilmelidir. Kayma eşiği küçük olmadığı sürece beton şekil değiştirme özelliğini yansıtmaz. Betonun kararlılığının bozulmaması adına su oranı artırılarak bu özelliğin sağlanması yoluna gidilmez. Bu sebepten ötürü yeni arayışlar ortaya çıkar. Dolayısıyla viskozite en önemli ayrışma simgesi olduğundan küçülmemelidir. Minimum oranda su/bağlayıcı ile tasarlanan KYH'da yüksek oranda

çimento bulunur. Çimentonun maliyeti ile birlikte olumsuz çevresel zararlar da gözönüne alındığında farklı malzemeler kullanılmaya başlanmıştır. KYB'lerin kohezyonunu sağlamak, karışımda çimento miktarını azaltmak ve atık malzemeleri değerlendirerek daha ekonomik KYB üretebilmek için, çeşitli puzolanik özellikte olan katkı maddeleri kullanılmaktadır. Şahmaran vd., (2004) yaptıkları çalışmada, KYB içinde yüksek hacimde uçucu kül (UK) kullanmışlardır. KYB karışımlarında kullanılan diğer bir malzeme taş tozudur. Yapılan çalışmalarda kireç taşı tozu KYB içinde kullanılmış ve olumlu sonuçlar elde edilmiştir. KYB üretiminde kullanılan başka bir puzolan da silis dumanıdır (Türel ve Felekoğlu, 2005). KYB, prefabrike eleman yapımında gerekli olan düzgün yüzey'in herhangi bir işlem gerektirmeden elde edilmesine olanak sağladığından dolayı bu alanda da kullanımı yaygındır. (Çelik vd., 2014).

### **1.6 Atık Malzemelerin İnşaat Sektöründe Kullanımı**

Atık maddeler oluşum kaynağına göre gruplandırılabilir. Bunlar endüstriyel kaynaklı atıklar, tarımsal kaynaklı atıklar, kentsel kaynaklı atıklar ve mineral kaynaklı atıklar olmak üzere aşağıdaki gibi ayrılabilir;

- 1) Tarımsal atıklar; hayvansal kaynaklı atıklar, hasat kaynaklı atıklar, ağaç ve kereste kaynaklı atıklar
- 2) Kentsel atıklar; seramik ve cam kaynaklı atıklar, kanalizasyondan kaynaklanan atıklar, evsel kaynaklı katı atıklar, kullanılmış lastiklerden kaynaklanan atıklar, plastik ve kağıt kaynaklı atıklar
- 3) Mineral atıklar; işlenmiş kömürden kaynaklanan atıklar, işlenmiş madenden kaynaklanan atıklar, maden ocağından kaynaklanan atıklar, fosfojips ve kayadan kaynaklanan atıklar
- 4) Endüstriyel atıklar; fırın cürufularından kaynaklanan atıklar, kireç ve çimento üretim fırınından kaynaklı tanecik atıkları, yakılmış kömür kaynaklı atıklar, inşaat ve moloz kaynaklı atıklar, dökümhaneden oluşan atıklar, kağıt hamurundan kaynaklanan atıklar, asfalt ve beton kaplamadan kaynaklanan atıklar

Yeryüzünde oluşan atıkların, depolama ve atık yönetim sıkıntısına sebebiyet vermesinin yanında çevresel olarak oluşturduğu sıkıntılar bilim dünyasını yeni arayışlara ve



kazanımlara itmiştir. Endüstrilerin ve farklı sektörlerin doğal kaynaklarının kısıtlı olması ve aşırı enerji ihtiyacı yukarı sıralanan atıkların hammadde veya yan ürün olarak kullanılması adına yeni arayışlar içerisine girilmesine sebebiyet vermiştir. Oluşan atıkların yol yapımında dolgu malzemesi olarak, kaldırımlarda kaldırım taşının hammaddesi olarak ve yapı sektöründe yapı malzemelerine hammadde olarak kullanılması sektöre fayda sağlayan bir yöntemdir (Arslan ve Kırgız, 2007). Mevcut atıkların hammadde veya yan ürün olarak tüketilmesi sayesinde atık kaynaklı çevresel sorunlar ortadan kalkacak ve duyulan enerji ihtiyacı azalacaktır. Bu sayede devamlılığı olan bir atık yönetim planı oluşturulabilecek ve uygulanabilecektir. Atık malzemelerden bazı yapı malzemesi temini çalışmaları aşağıda özetlenmiştir.

### **1.6.1 Atık plastiklerin kullanımı**

Polyethylene Terephthalate (PET) şişeler, ekonomik olup, kolay işlenebilir olması, taşıma ve depolama sırasındaki kırılma sorunlarını ortadan kaldırmasıyla cam şişelerin yerini almıştır (Choi vd., 2005). Günümüzde PET (Polietilen tereftalat) şişeler birçok gıda maddesinin ambalajlanmasında (su, meşrubat, sıvı yağ vb. sıvı gıdalar) yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Pet atıkları, yapı endüstrisinde yüksek oranda ve çevre sorunlarına mahal vermeden tüketilmektedir (Sadrmomtazi vd., 2016). Pelisser vd., (2012) tarafından beton bileşimlerinde deneysel olarak atık ve yıkanmamış PET şişeleri ince agrega olarak kullanımı araştırılmıştır. Karşılaştırma olarak aynı granülometriye sahip ince agregalı beton kullanılmıştır. Yapılan 28 ve 365 günlük yaş testlerinden sonra WPET ve şahit numunesine işlenebilirlik, basınç dayanımı, yarma ve çekme testleri uygulanmıştır. Farklı çimento içeriği ve su/çimento oranıyla numuneler üretilmiştir. WPET betonlar benzer işlenebilirlik özellikleri, basınç ve çekme dayanımının örnek betonunkinden kısmen daha az ve esnekliğinin kısmen daha fazla olduğu bulunmuştur. Araghi vd., (2015) tarafından yapılan çalışmada 7 mm boyutlarında öğütülen PET partikülleri (özellik ağırlığı  $1.11 \text{ g/cm}^3$ ), % 5, % 10 ve % 15 oranlarında doğal agrega yerine kullanılarak, betonun sülfürik asite dayanımını araştırmışlardır. % 15 PET parçacıkları içeren betonda sülfürik asite karşı daha az kütle kaybı gözlemlenmiştir. Ramadevi ve Manju (2012) yaptıkları çalışmada, PET şişe elyaflarını % 1, 2, 4 ve 6 oranlarında betonda ince agrega olarak kullanmışlardır. PET elyafı ile elde ettikleri en yüksek eğilme (% 45,77) kontrolden % 4 daha büyük çıkmıştır.

### **1.6.2 Atık cam kullanımı**

Cam, var olan bütün atık maddeler içerisinde tamamı geri dönüştürülebilen maddelerdendir. Cam, yeryüzünde aşırı düzeyde bulunan silika (kum), soda külü, kireç, feldspat ve iz elementlerden üretilmektedir. 1960'lerden günümüze kadar cam atıklarının çimento ve beton sanayinde kullanımı için gerekli çalışmalar yapılmaktadır. Cam, fiziksel ve kimyasal olarak benzer özellik göstermesinden dolayı beton üretiminde kum, ince çakıl veya çimento yerine dolgu malzemesi agrega yerine kullanılmıştır. Bu amaçla yapılan çalışmada atık camlar beton içerisinde cam tozları ve agrega olarak kullanım potansiyeli araştırılmıştır (Yıldız vd., 2010).

Kou ve Poon (2009) tarafından geri dönüştürülmüş camın, kendiliğinden yerleşen beton üretiminde kullanılabilirliğini araştırmışlardır. <5 mm ve 5-10 mm aralığında olmak üzere iki farklı cam kırığı kullanmışlardır. Beton karışımlarında yapılan yayılma deneyi sonuçlarına göre, cam kırığı oranı arttıkça taze özelliklerinin iyileştiği gözlemlenmiştir. Benzer artış trendi LCD camı ile yapılan çalışmada da görülmüştür (Wang and Huang, 2010).

### **1.6.3 Uçucu kül (UK) kullanımı**

UK, termik santrallerin ana yakıt maddesi olan kömürün çok yüksek derecelerde yakılması neticesinde oluşan endüstriyel bir atık yan üründür. Dünya üzerinde yılda üretilen UK miktarı 450 milyon ton olup sadece % 6'sı beton ve çimento üretiminde kullanılmaktadır. Betonda UK, betonun elde edilmiş maliyetini azaltmak veya yeni dökülmüş ve kalıp halini almış betonun kalitesini artırmak amacıyla kullanılır. Çimentoda ise hammadde, katkı maddesi ve temel hammadde olarak kullanılmaktadır. Çimentonun esas hammaddesi olan kil ve kalker taşına; UK karıştırılması ile klinker elde edilmesi amacıyla kullanılmaktadır. UK çimento eldesinde kullanılıncaya birçok işleme gerek kalmayacağından daha ekonomik çimento eldesi sağlayacaktır. Beton eldesinde UK kullanılmasının amacı kuruyup sertleşmiş betonda kapı kaynaklı korozyonu azaltmak ve ileri yaşlardaki basınç dayanımının artmasıdır (Yılmaz ve Değirmenci, 2009). UK'ün beton eldesinde usulünce kullanılmasıyla betonda teknik anlamda olağanüstü kalite elde etmek mümkündür. Örneğin, eldesinde UK kullanılan betonlar başlarda teknik özellik bakımından diğer betonlardan fazla karklılık göstermese

bile zaman ilerledikçe teknik özellik bakımından diğer betonlardan daha kaliteli ve daha sağlam olmaktadır. UK'ün yapı sektörünün vazgeçilmez hammaddeleri olan beton ve çimentoda hammadde olarak kullanılmasıyla hem çevresel sorunlar azalmakta hemde ekonomik ve teknik açıdan yüksek oranda fayda sağlamakta. (Tangüler vd., 2015).

#### **1.6.4 Atık lastiklerin kullanımı**

Atık malzeme ve bertarafı olarak en büyük sorun teşkil eden maddelerden biri de Atık kauçuk lastiktir. Yıllık bir milyar dolayında ortaya çıkan atık lastiklerin bir kısmı gelişmiş güzel depolama sahalarına atılırken, bir kısmı da kontrolsüzce yakılmaktadır. En basit ve en zararlı yöntem olan lastiğin yakılması ise; hem havaya aşırı düzeyde zararlı emisyonların verilmesine sebep olur hem de kontrol altına alınamayacak düzeyde büyük yangınlara sebep olur. Koçak ve Alpaslan (2011) tarafından yapılan çalışmada, atık lastiklerin çimento ve beton üretiminde kullanımı araştırılmıştır. Genel anlamda ele alındığında beton eldesi sırasında tanecik boyutunda olan atık lastiklerin kullanımı ile meydana gelen basınç dayanımı ve çekme dayanımının düşmesi, ısı ve sıcaklık kaynaklı bozulma ve çatlakların azaldığı, darbe dayanımının arttığı vedaha düşük ağırlıklara sahip olmaya başladığı tespit edilmiştir. Tanecik boyutundaki lastik atıklarının kimsayal reaksiyon bakımından uygun maddeler ile kullanılması sonucu gerekli müdahaleler yapılarak istenilen düzeylere getirilebileceği düşünülmektedir.

#### **1.6.5 Mermer tozu kullanımı**

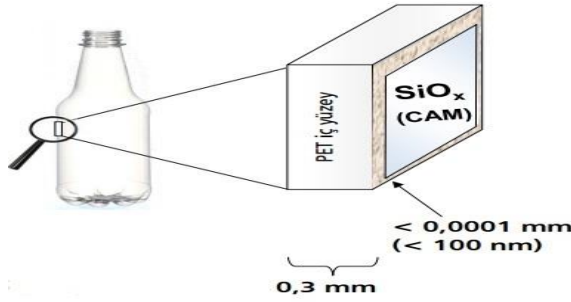
Mermer tozu, mermer taşının taş kırma tesisinde kırılması neticesinde ortaya çıkan ve çok ince olan malzemeye denir. Gerek yapı sektöründe gerekse diğer sektörlerde mermere olan aşırı ilgiden dolayı mermer işleme tesislerinin artması sonucu tesislerin sebep olduğu mermer tozu birçok çevresel soruna sebebiyet vererek tabii güzelliklerin bozulmasına sebep olmuştur. Yapılan çalışmalar, mermer tozlarının beton ve inşaat sektöründe ana hammadde ve dolgu malzemesi olarak kullanılabilen bir yan ürün olduğunu ortaya koymuştur. Mermer tozlarının beton ve inşaat sektöründe kullanılması aynı zamanda çevresel kirliliğinde azalmasının yanında ekonomiye de katkı sağlar. Demirel ve Yazıcıoğlu (2010) tarafından yapılan çalışmada, mermer tozlarının beton üretiminde kullanımı ile betonun dayanımının arttığı sonucuna varmışlardır.

## BÖLÜM II

### MATERYAL VE METOT

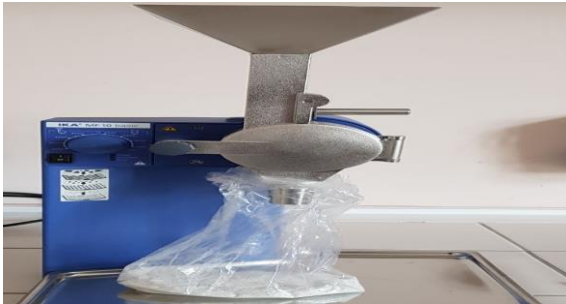
#### 2.1 Kullanılacak Malzemelerin Seçilmesi ve Özelliklerinin Belirlenmesi

Çalışmanın ilk aşamasında, Niğde Belediyesi Geri Dönüşüm Tesisinden alınan, atık CamPET şişeleri, temizlendikten sonra, bir geri dönüşüm firması tarafından “çapak” olarak nitelendirilen küçük parçalara ayrılmıştır (Şekil 2.1.b). Daha sonra, Çevre Mühendisliği Bölümü Laboratuvarları'nda bulunan IKA MF10 model öğütücü ile öğütülerek toz haline getirilmiştir (Şekil 2.1.c ve d), müteakiben elek analizine tabi tutularak dane çapı belirlenmiştir. Öğütülmüş CamPET'in yüzey alanı  $0,0769 \text{ m}^2/\text{g}$  olarak tespit edilmiş, özgül ağırlığı ise ortalama  $1,39 \text{ g/cm}^3$  olarak belirlenmiştir. Proje kapsamında, toz UK ve CamPET'in morforlojik özelliklerini belirleyebilmek için XRF ve SEM analizleri yapılmıştır.



(a) CamPET ve iç yüzeyi

(b) parçalanmış CamPET (çapak)



(c) öğütücü (IKA MF10)

(d) toz CamPET

**Şekil 2.1.** CamPET'in öğütme aşamaları

## 2.2 KYH Karışımlarının Hazırlanması

Literatür bilgileri ışığında, su/bağlayıcı oranı 0.4 ve toplam çimento içeriği  $550 \text{ kg/m}^3$  seçilerek karışımlar tasarlanmıştır. Bu karışımlarda kontrol harç numunesinde % 20 UK, çimento yerine kullanılmış, daha sonra bu oran diğer karışımlarda kademeli olarak azaltılmıştır. KYH numunelerinde CamPET oranı %0, %3, %6 ve %9 olacak şekilde hazırlanmıştır (Çizelge 2.1). Tüm KYH'lerde aynı homojenliği sağlamak için karıştırma işlemi ASTM C 109/C 109M-99'a (1999) göre sabit tutulmuştur.

**Çizelge 2.1.** KYH'ın karışım oranları ( $\text{kg/m}^3$ )

Karışım Kodu	Su/ Bağlayıcı	Bağlayıcı malzemeler			İnce Agrega		Akışkanlaştırıcı
		PÇ	UK	CamPET	Doğal Kum	Kırma Kum	
CP0	0.40	440.0	110.0	0.0	1077.3	454.8	7.50
CP3	0.40	440.0	93.5	16.5	1059.9	447.5	9.25
CP6	0.40	440.0	77.0	33.0	1042.6	440.1	13.75
CP9	0.40	440.0	60.5	49.5	1025.2	432.8	28.75

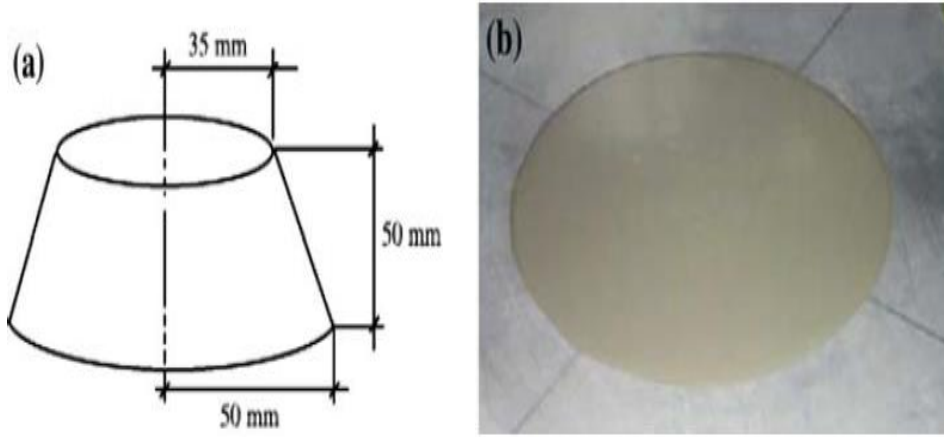
## 2.3 Deney Yöntemleri

### 2.3.1 KYH'ın taze özelliklerinin belirlenmesi

*Yayılma deneyi:* Deformasyon hızının gözlenmesini ve numunenin kendi ağırlığı ile yayılarak oluşturacağı çapın ölçülmesini kapsar. Deney aparatı olarak çökme (slump) hunisi ve tabla kullanılmıştır (Şekil 2.2). Şekil 2.2'de görüldüğü üzere ölçüleri belirli olan koni içerisinde taze halde harç konulduktan sonra yukarı çekilmesiyle birlikte harcın yayılma çapı ölçülmüştür. Bu değer EFNARC'a göre 24-26 cm arasında olması gerekmektedir (EFNARC, 2002). Akışkanlaştırıcı miktarı ayarlanarak bu değer elde edilmiştir.

*Mini V-hunisi akış zamanı deneyi:* Kendi ağırlığı ile özel tasarlanmış bir huninin dar olan ağzından boşalma süresinin ölçülmesini içermektedir. Deney, KYH'ın viskozitesi ve geçiş yeteneği hakkında fikir vermektedir. Aparat olarak özel bir huni kullanılır (Şekil 2.3). Şekil 2.3'de verilen V hunisine hazırlanan harç numunesi doldurularak

sonra huninin altındaki kapak açılır. Harcın huniyi boşaltma süresi ölçülür. EFNARC (2002)'a göre bu değerin 7-11 sn arasında olması gerekmektedir.



Şekil 2.2. Yayılma testi



Şekil 2.3. Mini V hunisi

### 2.3.2 KYH karışımlarının sertleşmiş haldeki özelliklerinin belirlenmesi

*Basınç dayanımı:* KYH'lerin basınç dayanımı ASTM C349-14'e (2017) göre belirlenmiştir. Basınç deneyi, eğilme dayanımını belirlemek için kullanılan 4x4x16 cm boyutlarındaki prizma numunelerden elde edilen parçalar kullanılarak 28. ve 90. günde yapılmıştır. Dolayısıyla her bir test yaşı için 6 parça kullanılmıştır. Numunelerin basınç dayanımı elde edilen sonuçların ortalaması alınarak belirlenmiştir.

*Eğilme dayanımı:* KYH numunelerinin eğilme dayanımı ASTM C348-14'e (2017) göre Eğilme deneyi hem 28. günde hem de 90. günde 4x4x16 cm boyutlarındaki prizmatik

numuneler kullanılarak yapılmıştır. Her iki test yaşı için 3 adet prizmatik numune kullanılmıştır. Numunelerin eğilme dayanımı 3 numunenin ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Son olarak bu deney yöntemi yardımıyla eğilmeyi test etmek için kullanılan harç prizmalarının ayrılan kısımları ASTM C349-14 (2017) test metoduna paralel olarak basınç dayanımının belirlenmesi için kullanılabilir.

*Ultrasonik titreşim hızı:* Tahribatsız bir deney yöntemi olan ultrasonik titreşim hızı deneyi inşaat mühendisliğinde kullanılan çok yaygın bir tekniktir. Bu deney metodu uygulama açısından çok basittir. UTH deneyi ultrasonik dalganın numunenin bir ucundan diğer ucuna ilk varış süresini ölçmektedir. UTH, ASTM C597-16'ya (2016) göre uygulanan standart bir ASTM deneyidir. Standart, betonun veya harcın göreceli kalitesinin ve bazı kusurlarının (boşluklar, çatlaklar ve onarımlarının etkinliği vb.) değerlendirilmesine olarak sağlamaktadır. UTH testleri 4x4x16 cm boyutlarında, 3 prizmatik harç numunesi üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bu test 28. ve 90. günde harcın 16 cm'lik kısmına uygulanmıştır. Bir numuneden 4 adet olmak üzere toplamda her test yaşı için her bir karışımdan 12 adet okuma alınmıştır. Daha sonra bu 12 değerlerin ortalaması deney sonucu olarak tespit edilmiştir.

### **2.3.3 Mikroyapısal ve termal özelliklerin belirlenmesi**

CP0 ve CP9 kodlu harç karışımlarının, 28 günlük örneklerinde mikroyapısal ve termal özellikler incelenmiştir. Bu numunelerin mikroyapısal özellikleri taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve termal (TGA ve DTA) analizler ile belirlenmiştir. Termogravimetrik (TGA) analizleri için basınç dayanımı testi sırasında kırılan parçalardan alınan 15 mg numune alınmıştır. Ayrıca TGA analizi, azot atmosferinde 250-1000 °C aralığında 10°/dk'lık artışlarla gerçekleştirilmiştir.

## BÖLÜM III

### BULGULAR VE TARTIŞMA

#### 3.1 Kullanılan Malzemelerin Seçilmesi ve Özelliklerinin Belirlenmesi

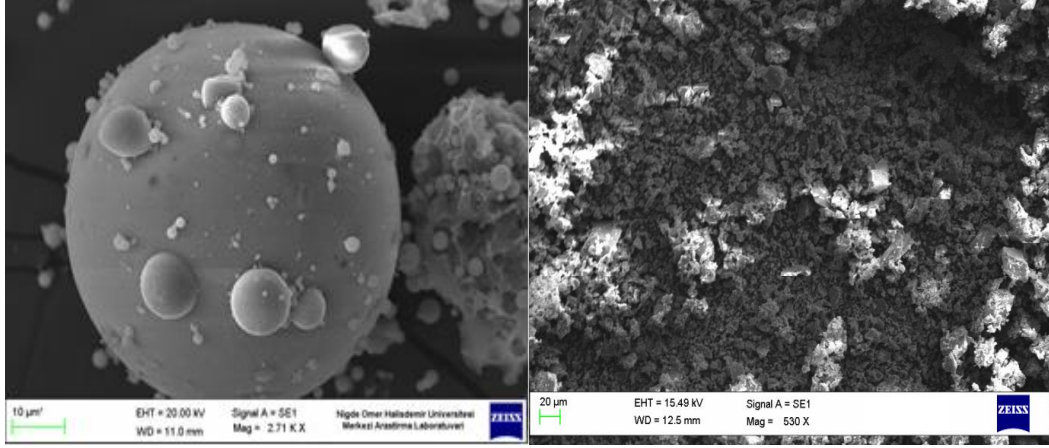
Bu çalışmada çimento olarak CEM I 42.5 R kullanılmıştır. CEM I 42.5 R, UK ve CP'in kimyasal ve fiziksel özellikleri Çizelge 3.1'de verilmiştir. Tüm karışımlarda polikarboksilik-eter bazlı süper akışkanlaştırıcı kullanılmıştır. Bu akışkanlaştırıcının özgül ağırlığı 1.07'dir. Bu çalışmada, ince agrega olarak kullanılan doğal kum ve kırma kumun özgül ağırlığı 2.67 ve 2.63 olup, dane boyutu 0-4 mm ve 0-2 mm'dir.

**Çizelge 3.1.** PÇ, UK ve CamPET'in kimyasal bileşenleri ve fiziksel özellikleri

Kimyasal Bileşim (%)	Çimento	UK	CamPET
CaO	62.58	2.24	36.93
SiO <sub>2</sub>	20.25	57.20	5.85
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.31	24.40	1.53
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.04	7.10	8.35
MgO	2.82	2.40	1.40
SO <sub>3</sub>	2.73	0.29	1.28
K <sub>2</sub> O	0.92	3.37	1.37
Na <sub>2</sub> O	0.22	0.38	1.20

Proje kapsamında toz UK ve CamPET'e ait XRF ve SEM analizleri yapılmıştır (Çizelge 3.1 ve Şekil 3.1). CamPET'in kimyasal bileşimi, UK ile kıyaslandığında daha yüksek CaO ve Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve daha düşük SiO<sub>2</sub> ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeriğine sahip olduğu görülmektedir. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri incelendiğinde, CamPET tozunun geniş partikül aralığında dağılım gösterdiği görülmektedir (Şekil 3).





(a)

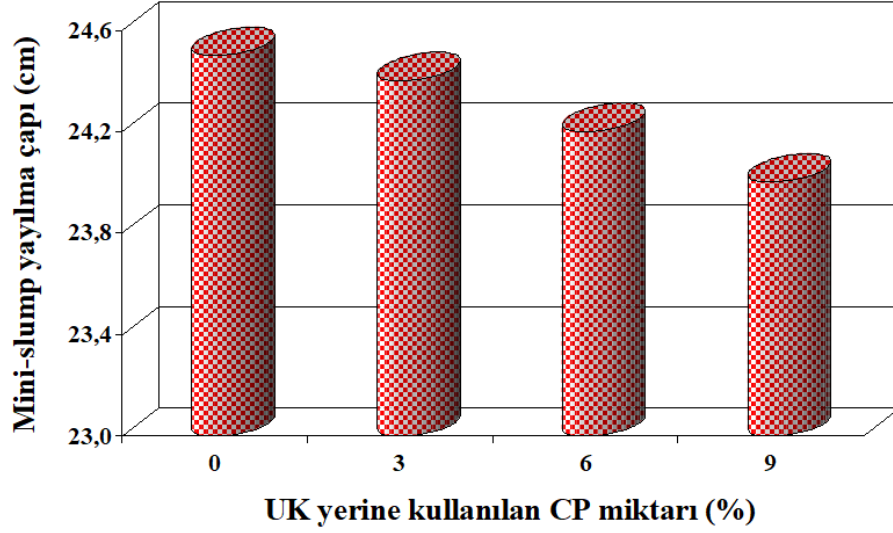
(b)

**Şekil 3.1.** UK ve CamPET'e ait SEM görüntüleri

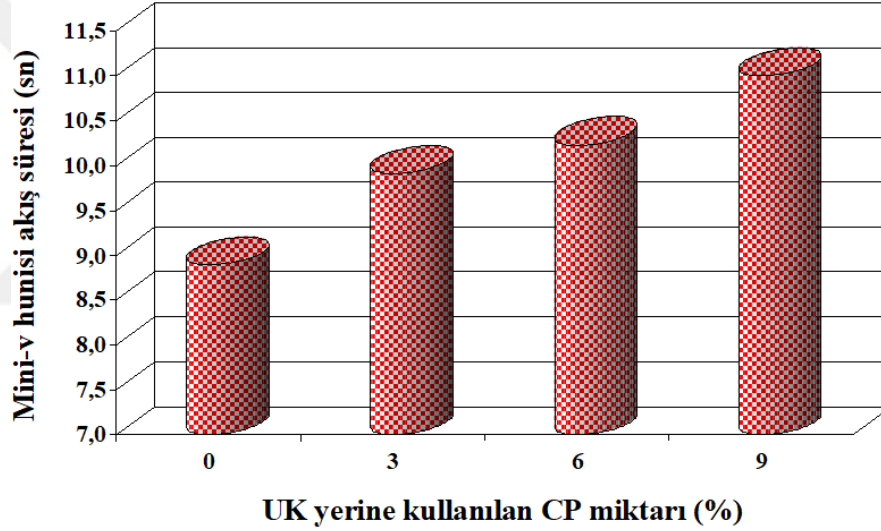
## 3.2 KYH Karışımlarının Üretilmesi ve Taze Özelliklerinin Belirlenmesi

### 3.2.1 Yayılma ve mini v-hunisi akış zamanı deneyi

KYH karışımlarına ait yayılma çapı ve mini V-hunisi akış zamanı değişimleri Şekil 3.2 ve 3.3'te görülmektedir. En yüksek yayılma çapı referans karışım numunesinde (%20 UK ve % 80 PÇ) elde edilmiştir. Ayrıca mini V-hunisi akış zamanı, karışım içindeki UK'ün azalması (CamPET'in artması) ile azalmıştır. Uygun işlenebilirlik değerlerini elde etmek için CamPET miktarı arttıkça akışkanlaştırıcı miktarı da artmıştır. Harç ya da beton karışımlarında işlenebilirlik özelliği; yüzey alanı, pürüzlülük ve malzemenin geometrisi olmak üzere üç temel parametreye bağlıdır (Afshinnia ve Rangaraju, 2016). UK ve CamPET'in SEM görüntüleri incelendiğinde, UK'ün küresel, CamPET'in ise pürüzlü bir yapıya sahip olduğu gözlemlenmiştir. Bu nedenle daha pürüzlü yapıdaki CamPET oranının artışı harç karışımlarının işlenebilirlik özelliklerini negatif etkilediği düşünülmektedir. Fakat tüm karışımlarda EFNARC (2002) tarafından tavsiye edilen, yayılma çapı (24-26 cm) ve mini V-hunisi akış zamanı (7-11 sn) limit değerleri sağlanmıştır. Dolayısıyla üretilen harçlar KYH olarak değerlendirilebilir.



Şekil 3.2. KYH'lerin mini-slump yayılma çapı

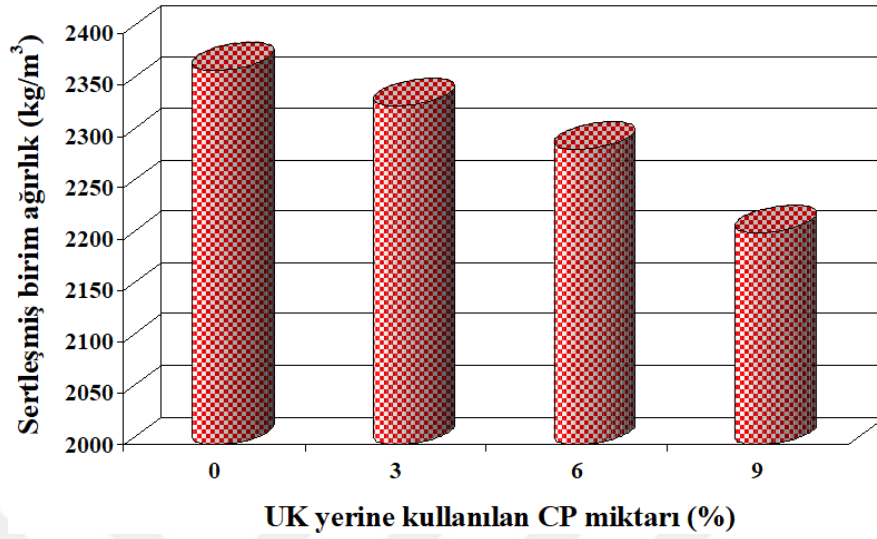


Şekil 3.3. KYH'lerin mini-v hunisi akış süresi

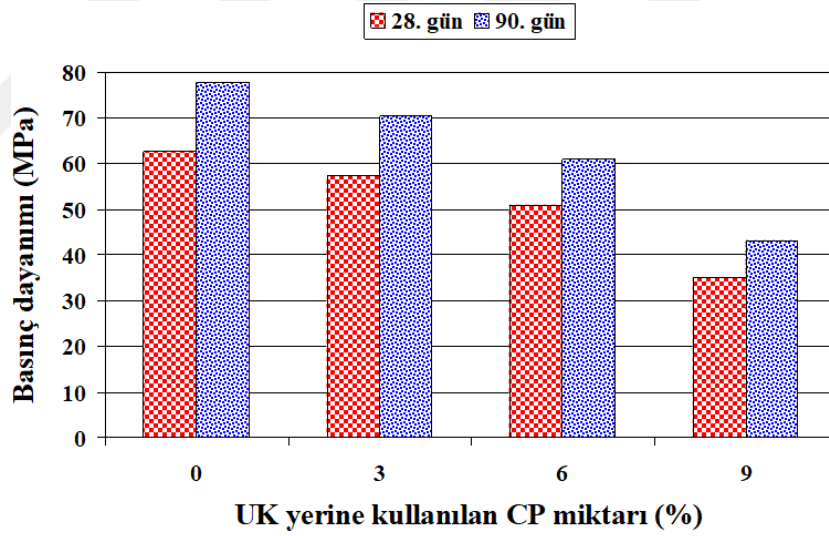
### 3.2.2 Birim ağırlık, basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve ultra ses yayılma hızı (UPV)

KYH'lerin 28 ve 90. günlerinde basınç dayanım değerleri ve birim hacim ağırlıkları Şekil 3.4 ve 3.5'de sunulmuştur. CP9 karışımının birim ağırlığı, referans karışımından yaklaşık % 7 daha az ölçülmüştür. Ek olarak, SCM'lerin basınç dayanımı, CamPET oranının artması ile azalmıştır. Örneğin, CP3, CP6 ve CP9 karışımlarının 28 günlük basınç dayanımı, CP0 karışımına göre % 8,5, % 19 ve % 44

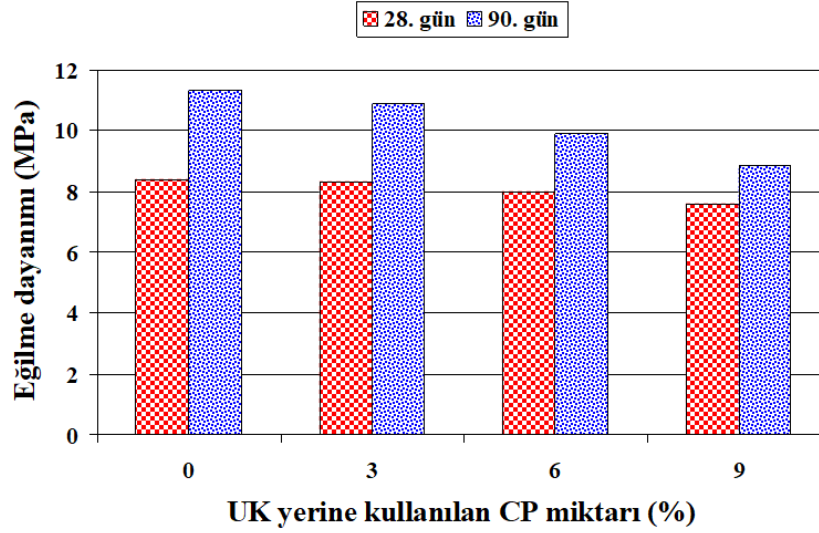
oranında azalmıştır. Bu azalmalar 90. günde yaklaşık % 9,5, % 21,5 ve % 44,5 olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.4. KYH'lerin sertleşmiş birim ağırlığı

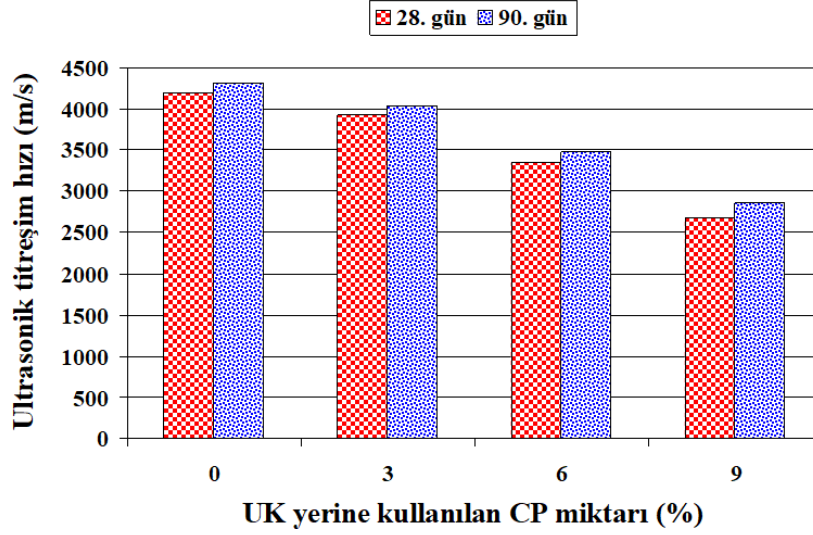


Şekil 3.5. KYH'lerin basınç dayanımı



**Şekil 3.6.** KYH'lerin eğilme dayanımı

KYH karışımlarının eğilme dayanımı değişimi Şekil 3.6'da gösterilmiştir. Eğilme dayanımı sonuçları basınç dayanımı ile benzerlik göstermektedir. Örneğin, CP0 karışımının eğilme dayanımı, 28. günde, CP3, CP6 ve CP9 karışımlarında sırasıyla 1,01, 1,05 ve 1,11 kat daha yüksek olmuştur. Benzer şekilde bu değerler 90. günde 1,04, 1,14 ve 1,28 olarak belirlenmiştir. Şekil 9'da görüldüğü gibi, UPV değerleri sırasıyla, 28 ve 90. günlerde 2681-4199 m/s ve 2857-4313 m/s arasında değişmiştir. Whitehurst'un (1951) sınıflandırmasına göre betonlar, 4500 m/s ve üstü, 3500-4500, 3000-3500, 2000-3000 ve 2.000 ve altı UPV değerleri için sırasıyla mükemmel, iyi, şüpheli, zayıf ve çok zayıf olarak kabul edilir. Bu nedenle, GP0 ve GP3 karışımlarının UPV sonuçları hem 28 hem de 90. gün için iyi olarak kabul edilebilir. Bununla birlikte, GP6 ve GP9 karışımlarının UPV değerleri, sırasıyla 28 ve 90. günlerde şüpheli ve kötü durumda olarak sınıflandırılmaktadır.



**Şekil 3.7.** KYH'lerin ultrasonik titreşim hızı

KYH karışımı test sonuçları incelendiğinde, CampPET'in yer değiştirme oranı arttıkça basınç ve eğilme dayanımları ile UPV değerlerinin azaldığı görülmüştür (Şekil 3.7). UK için ( $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 = \% 88,70$ ) toplamı daha yüksek iken, CampPET oranı ASTM C618'e (2015) göre pozzolanlar için minimum % 70 değerinden daha düşüktür. Bu nedenle UK, çimento yerine bağlayıcı malzeme olarak kullanıldığında, beton veya harca ek C-S-H jelleri kazandırabilmekte ve harçta dolgu etkisi göstermektedir (Alsubari vd., 2016). Bununla birlikte, Şekil 3.8'de CampPET ve çimento matrisi arasındaki zayıf bağ yapısı gözlemlenmektedir.

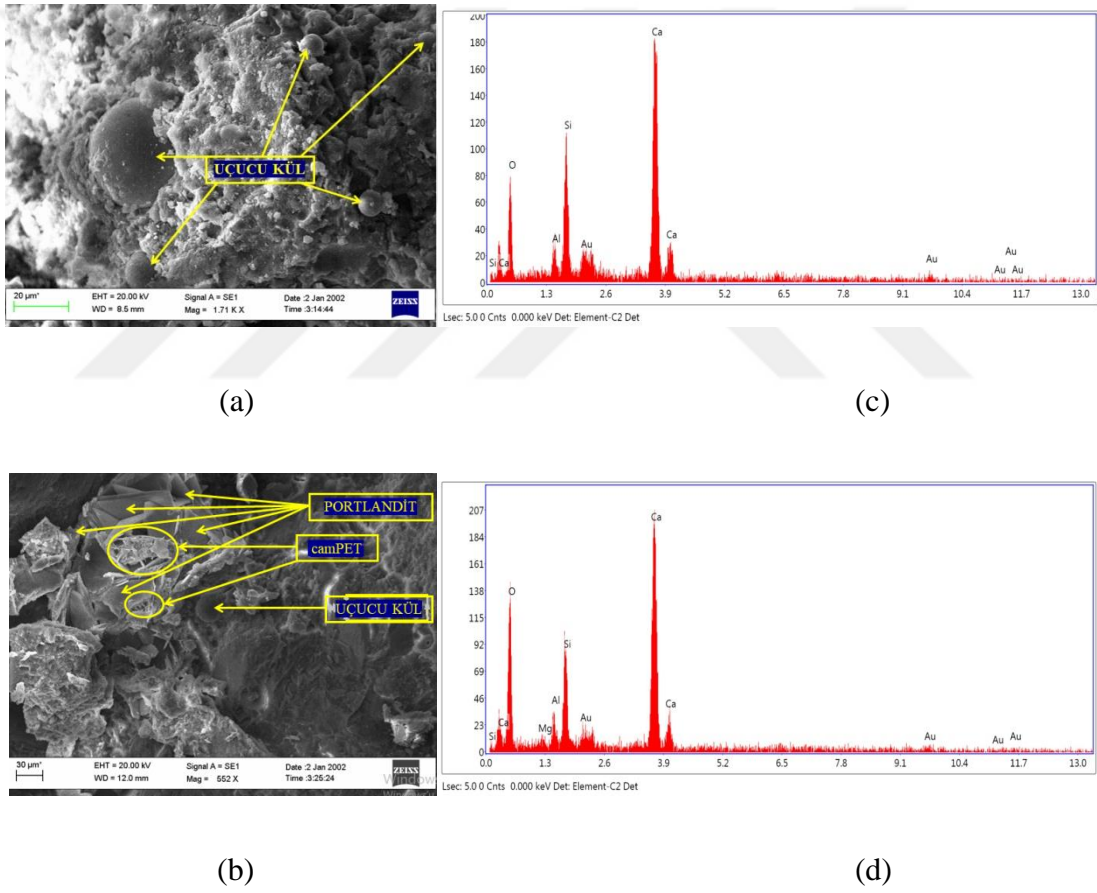
### 3.2.3 Mikroyapısal ve termal analizler

Projede kullanılan malzemelerin (UK ve CampPET) ve elde edilen harç karışımlarının, X-ışını floresans spektrometresi (XRF), Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM), ve X-ışını difraksiyonu (XRD) analizleri yapılmıştır.

#### 3.2.3.1 SEM/EDX

CP0 ve CP9 karışımlarının SEM görüntüleri ve EDX sonuçları Şekil 5'te sunulmuştur. Şekil 3.8 (a)'da açıkça görüldüğü gibi, UK partikülleri küresel bir yapıya sahiptir. UK'nin, harçtaki pozolanik reaksiyonun yanı sıra dolgu etkisine sahip olduğu düşünülebilir. Bununla birlikte, Şekil 3.8 (b)'ye göre UK, küresel şekle sahip dolgu

malzemesi olarak bulunurken, CamPET portlandit ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) ile bir arada bulunmaktadır. Bununla birlikte, Şekil 3.8 (b)'ye göre CamPET'in portlandit ile puzolanik bir reaksiyona girmediği ve aynı zamanda bir dolgu etkisi göstermediği düşünülmektedir. Akça ve Özyurt (2018a)'ya göre Ca/Si molar oranlarının C-S-H oluşumu ve tipleri hakkında bilgi verdiği bilinmektedir. CP0 ve CP9 karışımlarının Ca/Si oranları sırasıyla 2.99 ve 3.57 olarak hesaplanmıştır. Bu test sonuçları, bir puzolanik malzeme olan UK mineralinin,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 'i bağlayarak, yeni C-S-H jelleri oluşturduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, artan CamPET içeriği Ca/Si oranında bir artışa neden olmuştur. Bu nedenle, CamPET'in puzolanik reaksiyon etkisi yoktur demek mümkündür.



Şekil 3.8. CP0 (a), CP9'un (b) SEM ve CP0 (c) ve CP9'un (d) EDX sonuçları

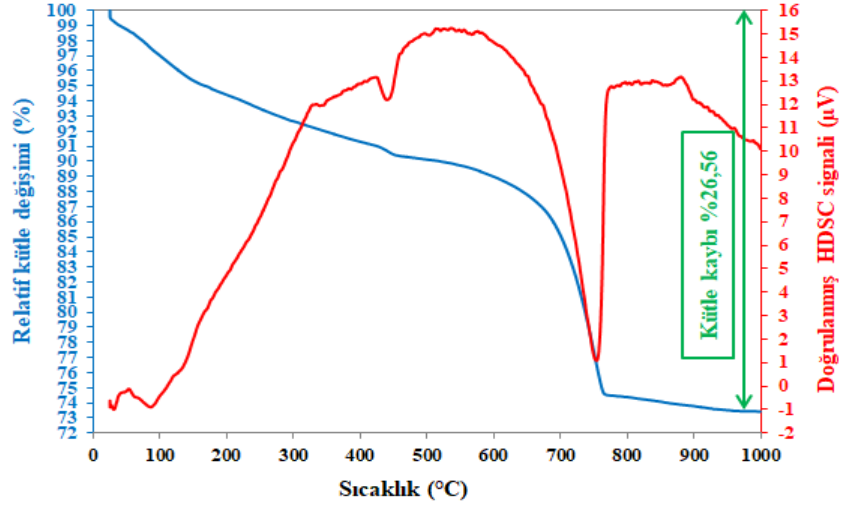
### 3.2.3.2 TGA/DTA

Termal analiz yöntemleri, numunenin fiziksel özelliğindeki bazı değişikliklerin sıcaklığın fonksiyonu olarak ölçüldüğü tekniklerdir. Termogravimetrik Analiz (TGA)

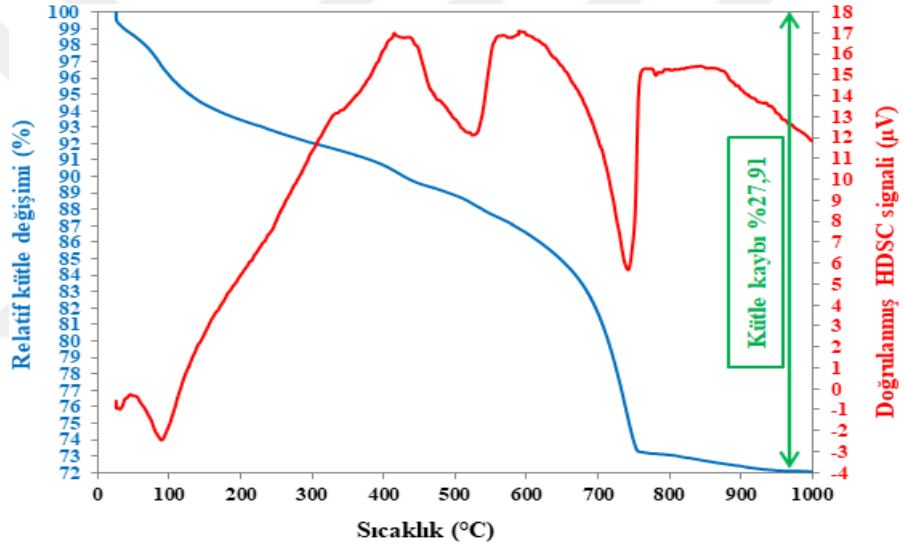
ve Diferansiyel Termal Analiz (DTA) termal analizlere örnek olarak verilebilir. CP0 ve CP9 numunelerine ait TGA ve DTA sonuçları Şekil 6'da sunulmuştur. TGA'nın, ısıtmanın sonucu olarak, numunenin kütle kaybını gösterdiği bilinmektedir. DTA eğrisi ise TGA eğrisinin pik halindeki gösterimi olarak ifade edilebilir. Beton veya harç örneklerinin ısıtılması sırasında  $\text{Ca(OH)}_2$ 'in dehidrasyonu ve  $\text{CaCO}_3$ 'ün dekarbonizasyonu, sırasıyla 425–475 °C ve 475–765 °C sıcaklık aralığında gerçekleşir (Akca ve Özyurt 2018a; Singh ve Singh. 2016).

$\text{Ca(OH)}_2$ 'in dehidrasyonu ve  $\text{CaCO}_3$ 'ün dekarbonizasyonu sırasındaki DTA'daki farklı pikler sırasıyla, 450 °C ve 700 °C'de görülmektedir (Akca ve Özyurt 2018a; Akca ve Özyurt 2018b). Beton veya harçtaki kimyasal bileşenlerin çoğu 800 °C civarında ayrıştırılır ve bu sıcaklık değerinden sonra kütle kaybı yavaşlar.

Yukarıda verilen bilgiler ışığında, 450-500 °C arasındaki DTA piklerinin  $\text{Ca(OH)}_2$  olması ve 750 °C civarında DTA piklerinin  $\text{CaCO}_3$  olması gerektiği söylenebilir. Şekil 3.9'da görüldüğü gibi, CP9'un  $\text{Ca(OH)}_2$  içeriği CP0'dan daha yüksektir. Bu durum da CamPET'in puzolanik bir reaksiyon göstermediğine bir işarettir. Ek olarak, CamPET'in artan miktarı KYH'deki  $\text{CaCO}_3$  içeriğini azaltmıştır (Şekil 3.9). Bununla birlikte, CP0 kütle kaybı (% 26.56), CP9'un kütle kaybına yakın (% 27.91) bulunmuştur. Bu nedenle, UK'nin, CamPET ile birlikte kütle korunumu sağladığı söylenebilir.



(a)



(b)

Şekil 3.9. CP0 (a) ve CP9 (b) numunelerinin TGA/DTA sonuçları



## BÖLÜM IV

### SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmanın ilk aşamasında, KYH'lerin mikroyapısal ve termal analizleri ile birlikte taze, mekanik ve durabilite özellikleri araştırılmıştır. Yapılan analiz sonuçlarına göre aşağıdaki bilgiler ortaya konulmuştur.

- Test sonuçlarına göre UK, CamPET'ten daha pürüzsüz olduğu için camPET karışımı KYH'lerin işlenebilirlik özelliği olumsuz etkilenmiştir.
- CP0 ve CP9 karışımlarının SEM analizine göre UK, harçta puzolanik reaksiyona girerek doldurucu etkiye sahip olmuştur. CamPET'in ise  $(Ca(OH)_2)$  ile herhangi bir reaksiyonuna rastlanmamıştır. SEM ve EDX sonuçları CamPET'in puzolanik reaksiyon etkisinin olmadığını tespit etmiştir.
- CamPET herhangi bir puzolanik reaksiyon göstermediği için TGA/DTA sonuçlarında CP9'un  $Ca(OH)_2$  içeriği CP0'a göre daha fazla çıkmıştır. Bu sonuç SEM/EDX sonuçlarını desteklemektedir. Bununla birlikte CP0'dan CP9'a gidildikçe  $CaCO_3$  miktarı azalmıştır. Ancak her iki karışımında kütle kaybı birbirine yakındır.
- CamPET miktarı KYH karışımlarında arttıkça, basınç ve eğilme dayanımları ile UPV değerleri olumsuz etkilenerek azalmıştır. Bu sonuca göre SEM ve EDX bulgularının sonucunda tespit edilen CamPET'in puzolanik reaksiyon etkisinin olmadığı desteklenmiştir.

Sonuç olarak, KYH vb. somut uygulamalarda atıkların hammadde olarak kullanımı, sadece doğal kaynakları koruma potansiyeline ya da düzenli depolama sorunlarına çözüm üretmekle kalmamakta aynı zamanda çimento üretiminden kaynaklanan olumsuz çevresel etkileri de azaltmaktadır. Ancak kullanılacak olan atık malzeme, kullanılmadan önce detaylı bir şekilde fiziksel ve morfolojik olarak incelenmelidir. Aksi takdirde puzolanik özellikler etkileneceği için olumsuz etki oluşturur.

## KAYNAKLAR

Afshinnia, K. and Rangaraju, P. R., “Impact of combined use of ground glass powder and crushed glass aggregate on selected properties of Portland cement concrete”, *Construction and Building Materials* 117, 263-272, 2016.

Akca, A. H. and Özyurt, N., “Effects of re-curing on microstructure of concrete after high temperature exposure”, *Construction and Building Materials* 168, 431-441, 2018a.

Akca, A. H. and Özyurt, N., “Effects of re-curing on residual mechanical properties of concrete after high temperature exposure”, *Construction and Building Materials* 159, 540-552, 2018b.

Akkurt, İ., Günoğlu, K., Başığit, C., Kılınçarslan Ş. ve Akkaş, A., “Farklı çimentolarla üretilen çimento pastalarının radyasyon zırhlama özellikleri”, *SDU International Technologic Science* 4 (2), 135-140, 2012.

Al-Jabri, K. S., Hisada, M., Al-Saidy, A. H. and Al-Oraimi, S. K., “Performance of high strength concrete made with copper slag as a fine aggregate”, *Construction and Building Materials* 23, 2132-2140, 2009.

Alsubari, B., Shafigh, P. and Jumaat, M. Z., “Utilization of high-volume treated palm oil fuel ash to produce sustainable self-compacting concrete”, *J. Clean. Prod.* 137, 982-996, 2016.

Alyüz, Ü., Türkiye için endüstriyel emisyon envanteri oluşturulması, Yüksek Lisans Tezi, *İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 2013.

Araghi, H. J., Nikbin, I. M., Reskati, S. R., Rahmani, E. and Allahyari, H., “An experimental investigation on the erosion resistance of concrete containing various PET particles percentages against sulfuric acid attack”, *Construction and Building Materials* 77, 461-471, 2015.

Arslan, M. ve Kırgız M. S., Mermer ve tuğla endüstrisi atıklarının çimento üretiminde kullanılabilirliği, *Proje Final Raporu*, Proje No: MAG(105M163), 2007.

ASTM C 109/C 109M-99, Standard test method for compressive strength of hydraulic cement mortar, *Annual book of ASTM standards*, United States, 1999.

ASTM C348-14, Standard test method for flexural strength of hydraulic-cement mortars, *Annual book of ASTM standards*, United States, 2017.

ASTM C349-14, Standard test method for compressive strength of hydraulic-cement mortars (using portions of prisms broken in flexure), *Annual book of ASTM standards*, United States, 2017.

ASTM C597-16, Standard test method for pulse velocity through concrete, *Annual book of ASTM standards*, United States, United States, 2016.

ASTM C618, Standard specification for coal fly ash and raw or calcined natural pozzolan for use in concrete, *Annual book of ASTM standards*, United States, 2015.

Avrupa Birliği, Avrupa Parlamentosu ve Konsey’in 24 Kasım 2010 tarih ve 2010/75/EU Sayılı Avrupa Parlamentosu ve Konseyi Yönergesi <http://www.csb.gov.tr/db/ippc/icerikbelge/icerikbelge894.pdf>, 16.02.2017.

Blengini, G. A., Busto, M., Fantoni, M. and Fino, D., “Eco-Efficient waste glass recycling: integrated waste management and green product development through LCA”, *Waste Management* 32 (5), 1000-1008, 2012.

Cembureau, Key facts and figures, <http://www.cembureau.be/about-cement/key-facts-figures> Erişim Tarihi:16.02.2017.

Chen, C., Habert, G., Bouzidi, Y. and Jullien, A., “Environmental impact of cement production: detail of the different processes and cement plant variability evaluation”, *Journal of Cleaner Production* 18,478-485, 2010.

Chiu, C. T., Hsu, T. H. and Yang, W. F., “Life cycle assessment on using recycled materials for rehabilitating asphalt pavements”, *Resour. Conserv. Recycl.* 52, 545–556, 2008.

Choi, Y. W., Moon, D. J., Chung, J. S. and Cho, S. K., “Effects of waste PET bottles aggregate on the properties of concrete”, *Cement and Concrete Research* 35, 776-781, 2005

Çelik, K., Meral, C., Gursel, P., Mehta, P., Horvath, A., and Monteiro, P. J. M., “Mechanical properties, durability, and life-cycle analysis of self-consolidating concrete mixtures made with blended portland cements containing fly ash and limestone powder”, *Cement and Concrete Composites* 56, 59-72, 2014.

Çokaygil, Z., Atık yönetimi planlanmasında yaşam döngüsü analizi, Yüksek Lisans Tezi, *Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir, 2005.

Dash, M. K., Patro, S. K. and Rath, A. K., “Sustainable use of industrial-waste as partial replacement of fine aggregate for preparation of concrete – A Review”, *International Journal of Sustainable Built Environment* 5, 484–516, 2016.

Demirarslan, K. O. ve Demirarslan D., “Kentlerde yeni yerleşim alanlarının gelişimi ve katı atık sorunu: İzmit Yahyakaptan Mahallesi örneği”, *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi* 2 (2), 108-120, 2016.

Demirel, B. ve Yazıcıoğlu, S., İnce malzeme olarak kullanılan atık mermer tozunun betonun mekanik özellikleri üzerine etkisi. *International Sustainable Buildings Symposium*. Ankara, Bildiriler Kitabı, 173-176, 2010.

Demirer, G. N., Sürdürülebilir üretim ve tüketim yayınları -yaşam döngüsü analizi. *Çevre ve Şehircilik Bakanlığı*, Ankara, 2011.

Demirer, G., Yaşam döngüsü analizi (LCA) ve uygulama örnekleri, Bölgesel Çevre Merkezi, REC Türkiye, **REW İstanbul**, 2011.

Deschamps, J., Simon, B., Tagnit-Hamou, A. and Amor, B., “Is open-loop recycling the lowest preference in a circular economy? answering through LCA of glass powder in concrete”, **Journal of Cleaner Production** 185, 14-22, 2018.

Devi, V. S. and Gnanavel, B.K., “Properties of concrete manufactured using steel slag”, **Procedia Engineering** 97, 95–104, 2014.

Dong, Y.H. and Ng, S.T., “Comparing the midpoint and endpoint approaches based on ReCiPe - A study of commercial buildings in Hong Kong”, **Int. J. Life Cycle Assess.** 19, 1409–1423, 2014.

EFNARC, Specification and guidelines for self-compacting concrete, ss. 15–16, Feb. 2002.

Erdoğan, T. Y., Beton, **ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş.**, Ankara, 17-37, 169-199, 2003.

Gültekin, A. B. ve Çelebi, G., “Yaşam döngüsü değerlendirme yöntemi kapsamında yapı ürünlerinin çevresel etkilerinin değerlendirilmesine yönelik bir model önerisi”, **Düzce Üniversitesi Billim ve Teknoloji Dergisi** 3, 1-36, 2016.

Güney, A., Yüce, E. ve Kangal, O., Plastik Atıkların Geri Kazanımına Yönelik Uygun Flotasyon Proseslerinin Geliştirilmesi, **İstanbul Teknik Üniversitesi**, Proje final raporu (Proje No:108042), İstanbul, 2008.

Gürdal, H. ve Yüceer, Z., Türkiye ve dünyada kendiliğinden yerleşen beton uygulamaları, **Beton 2004 Kongre Bildiri**, İstanbul, 2004.

Gürer, C., Akbulut, H. ve Kurklu, G., İnşaat endüstrisinde geri dönüşüm ve bir hammadde kaynağı olarak farklı yapı malzemelerinin yeniden değerlendirilmesi, **5. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu**, 13-14 Mayıs, İzmir, Türkiye, 2004.

Humbert, S., Rossi, V., Margni, M., Jolliet, O. and Loerincik, Y., “Life cycle assessment of two baby food packaging alternatives: glass jars vs. plastic pots”, *The International Journal of Life Cycle Assessment* 14 (2), 95-106, 2009.

Khoshnava, S. M., Rostami, R., Ismail, M. and Rahmat, A. R., “A cradle-to-gate based life cycle impact assessment comparing the KBFwEFB hybrid reinforced poly hydroxybutyrate biocomposite and common petroleum-based composites as building materials”, *Environ. Impact Assess. Rev.* 70, 11–21, 2018.

Kılıç, M. ve Yüce, E., “PVC ve PET Atıkların Seçimli Flotasyonu Plastikler; Çevresel Etkileri; Geri Dönüşümü”, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi* 29 (2), 79-93, 2014.

Koçak, Y. ve Alpaslan, L., Atık Lastiklerin Çimento ve Beton Sektöründe Kullanım Potansiyelleri, *6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11)*, 16-18 May, Elazığ, Turkey, 2011.

Kou, S. C. and Poon C. S., “Properties of self-compacting concrete prepared with recycled glass aggregate”, *Cement and Concrete Composites* 31 (2), 107–113, 2009.

Macko, M., “Size Reduction by Grinding as an Important Stage in Recycling”, *Post-Consumer Waste Recycling Optimum Production*, 273-294, 2012.

Marceau, M. L., Nisbet, M.A. and Vangeem, M. G., “Life Cycle Inventory of Portland Cement Manufacture”, *Research & Development Information*, PCA R&D Serial No. 3007, 68, 2006.

Meyer, C., “The greening of the concrete industry”, *Cement & Concrete Composites* 31, 601-605, 2009.

Monteiro, P. J. M., Miller, S. A. and Horvath, A., “Towards sustainable concrete”, *Nat. Mater.* 16, 698–699, 2017.

Moretti L., Mandrone, V., D'andrea, A. and Caro, S., “Comparative ‘from cradle to gate’ Life Cycle Assessments of Hot Mix Asphalt (HMA)”, *Materials, Sustainability* 9 (3), 1-16, 2017.

Oğuz, N., Hurda polietilen karakterizasyonu ve geri dönüşümün ürün özellikleri üzerindeki etkinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 2011.

Paris, J. M., Roessler, J. G., Ferraro, C. C., DeFord, H. D. and Townsend, T. G., “A review of waste products utilized as supplements to Portland cement in concrete”, *Journal of Cleaner Production* ,121,1-18, 2016.

Pelisser, F., Montedo, O. R. K., Gleize, P. J. P. and Roman, H. R., “Mechanical properties of recycled PET fibers in concrete”, *Materials Research* 15 (4), 679-686, 2012.

Prabhu, G. G., Hyun, J. H. and Kim Y. Y., “Effects of foundry sand as a fine aggregate in concrete production”, *Construction and Building Materials* 70, 514–521, 2014.

PRé, SimaPro Database Manual, *Methods Library*, 2014.

Ramadevi, K. and Manju, R., “Experimental investigation on the properties of concrete with plastic PET (bottle) fibers as fine aggregate”, *Int. J. Emerg. Technol. Adv. Eng.* 2, 42-46, 2012.

Ross, S. and Evans, D., “The environmental effect of reusing and recycling a plastic-based packaging system”, *Journal of Cleaner Production* 11, 561-571, 2003.

Sadromtazi, A., Dolati-Milehsara, S., Lotfi-Omran O. and Sadeghi-Nik, A., “The combined effects of waste Polyethylene Terephthalate (PET) particles and pozzolanic materials on the properties of selfcompacting concrete”, *Journal of Cleaner Production* 112, 2363-2373, 2016.

Sevencan, F. ve Vaizoğlu S.A., “Pet ve geri dönüşümü”, *TSK Koruyucu Hekimlik Bülteni* 6 (4), 307-312, 2007.

Singh, N. and Singh, S.P., “Carbonation resistance and microstructural analysis of low and high volume fly ash self compacting concrete containing recycled concrete aggregates”, *Construction and Building Materials* 127, 828-842, 2016.

Song, D., Yang, J., Chen, B., Hayat, T. and Alsaedi, A., “Life-Cycle Environmental Impact Analysis of A Typical Cement Production Chain”, *Applied Energy* 164, 916-923, 2016.

Şahmaran, M., Yaman, İ., Ö. and Tokyay, M., Yeni Nesil Yüksek Akışkanlaştırıcı Katkı Maddeleri ile Yüksek Hacimde Uçucu Kül İçeren Kendiliğinden Yerleşen Beton, *Beton 2004 Kongresi*, İstanbul, 225- 233, 10-12 Haziran, 2004.

T.C. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2014-2017 Ulusal Geri Dönüşüm Strateji Belgesi ve Eylem Planı, *Sanayi Genel Müdürlüğü*, Ankara, 2013.

Tangüler, M., Gürsel, A.P. and Meral Ç., Türkiye’de uçucu küllü betonlar için yaşam döngüsü analizi, *9. Ulusal Beton Kongresi*, 16-18 Nisan, Antalya, 2015.

Taşdemir, C., “Combined effects of mineral admixtures and curing conditions on the sorptivity coefficient of concrete”, *Cement and Concrete Research* 33, 1637-1642, 2003.

Taygun, G. T., Yapı ürünlerinin yaşam döngüsü değerlendirmesine yönelik bir model önerisi, Doktora Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 2005.

Turner, L. K. and Collins, F.G., “Carbon dioxide equivalent (CO<sub>2</sub>-e) emissions: A comparison between geopolymer and OPC cement concrete”, *Construction and Building Materials* 43, 125–130, 2013.



Türel, S. ve Felekoğlu, B., Silika dumanı ve akışkanlaştırıcı kimyasal katkı kullanımının betonda kendiliğinden yerleşebilirlik ve basınç dayanımı üzerine etkileri, *Deprem Sempozyumu*, Kocaeli, 286-293, 2005.

URL 1, TÜİK <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=15844>, 06.12.2017

URL 2, <http://www.rewistanbul.com/tc-bilim-sanayi-ve-teknoloji-bakanligi-2014-2017-ulusal-geri-donusum-strateji-belgesi-ve-eylem-planini-yayinladi-51.html>, 06.12.2017

Vitale, P., Arena, N., Di Gregorio, F. and Arena, U., “Life cycle assessment of the end-of-life phase of a residential building”, *Waste Management* 60, 311–321. 2017.

Wang, H. Y. and Huang, W. L., “A study on the properties of fresh self-consolidating glass concrete (SCGC)”, *Construction and Building Materials* 24 (4), 619–24, 2010.

Whitehurst, E. A., “Soniscope tests concrete structures”, *J. American Concr. Inst.* 47, 443–444, 1951

Worrell, E., Price, L., Martin, N., Hendriks, C., and Meida, L. O., “Carbon dioxide emissions from the global cement industry”, *Annual Review of Energy and the Environment* 26 (1), 303-329, 2001.

Yıldız, S., Bölükbaş, Y. ve Keleştemur, O., “Cam elyaf katkısının betonun basınç ve çekme dayanımı üzerindeki etkisi”, *Politeknik Dergisi* 13 (3), 239-243, 2010.

Yılmaz, A. ve Değirmenci, N., “Possibility of using waste tire rubber and fly ash with portland cement as construction materials”, *Waste Management*, 29, 1541-1546, 2009.

## ÖZ GEÇMİŞ

Selahattin ADIN, 17 Ocak 1992 Ankara Yenimahalle’de doğmuştur. İlkokul, ortaokul ve lise eğitimimi Mardin-Kızıltepede tamamladıktan sonra, Eylül 2010 senesinde Şanlıurfa Harran Üniversitesi Mühendislik fakültesi Çevre Mühendisliği bölümüne yerleşmiştir. Buradan mezun olduktan sonra Ankarada bulunan ve konut yapımı üzerine faaliyet gösteren Dumar inşaat ltd. Şti. bünyesinde çalışmaya başlamıştır. Burada çalıştığı süreç zarfında kontrol mühendisi, saha mühendisi ve şantiye sorumlusu görevlerini gerçekleştirmiştir. 24 Ağustos 2018 tarihinde şirket bünyesinde bütün görevlerinden istifa ederek 16 Ekim 2018 tarihinde halen bünyesinde çalışmakta olduğu Mardin Büyükşehir Belediyesi Çevre Koruma ve Kontrol Daire başkanlığı Hafriyat Şube Müdürlüğünde Çevre Mühendisi olarak görev yapmaya başlamıştır.

