

**BETON ÜRETİMİNDE UÇUCU KÜL VE YÜKSEK  
FIRIN CÜRUFU KULLANILMASININ ETKİLERİ VE  
MALİYET ANALİZİ**

**Yusuf YILMAZ**

**Yüksek Lisans Tezi**

**Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı  
Danışman: Doç. Dr. Can Burak ŞİŞMAN**

**2014**

**T.C.**

**NAMIK KEMAL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**BETON ÜRETİMİNDE UÇUCU KÜL VE YÜKSEK FIRIN CÜRUFU  
KULLANILMASININ ETKİLERİ VE MALİYET ANALİZİ**

**Yusuf YILMAZ**

**BİYOSİSTEM MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN: Doç. Dr. Can Burak ŞİŞMAN**

**TEKİRDAĞ-2014**

**Her hakkı saklıdır**

Doç. Dr. Can Burak ŐIŐMAN danıŐmanlıęında, Yusuf YILMAZ tarafından hazırlanan “Beton Üretiminde Uçucu Kül ve Yüksek Fırın Cürufu Kullanılmasının Etkileri ve Maliyet Analizi” isimli bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak oy birliği ile kabul edilmiştir.

Juri BaŐkanı : Prof. Dr. A. Nedim YÜKSEL

*İmza :*

Üye : Doç. Dr. Can Burak ŐIŐMAN

*İmza :*

Üye : Yrd. Doç. Dr. Aylin AKYILDIZ

*İmza :*

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu adına

Prof. Dr. Fatih KONUKCU  
Enstitü Müdürü

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### BETON ÜRETİMİNDE UÇUCU KÜL VE YÜKSEK FIRIN CÜRUFU KULLANILMASININ ETKİLERİ VE MALİYET ANALİZİ

**Yusuf YILMAZ**

Namık Kemal Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Can Burak ŞİŞMAN

Günümüzde, sanayileşmeye paralel olarak artan enerji ihtiyacı ve bu ihtiyacı karşılamak için kullanılan fosil kökenli yakıtlar önemli çevresel problemleri de beraberinde getirmektedir. Bir taraftan sürdürülebilir bir kalkınmanın sağlanması, diğer taraftan çevre kirliliğinin azaltılarak insanların yaşam kalitelerinin artırılması bu tür atık malzemelerin farklı alanlarda değerlendirilmesi ile sağlanabilir. Bu bağlamda, önemli çevre sorunlarına neden olan kömür kaynaklı uçucu küllerin ve yüksek fırın cürufunun inşaat sektöründe özellikle beton üretiminde puzolan malzeme olarak kullanılması ve bertaraf edilmesi son yıllarda önemle üzerinde durulan bir konu haline gelmiştir.

Dünyada yapı malzemesi olarak betonun kullanımı artarak devam etmektedir. Uygulama kolaylığı, diğer malzemelere göre ucuz olması, önemli avantajları olarak görülmektedir. Beton üretiminde, en önemli gider çimento maliyetidir. Son yıllarda standartlarda istenen beton özelliklerini bozmadan çimento miktarını azaltıcı yönde çalışmalar yapılmaktadır.

Bu çalışmada, farklı fabrikalardan alınan UK ve YFC'nun beton üretiminde puzolan malzeme olarak kullanımının betonun bazı mekanik ve fiziksel özellikleri üzerine olan etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Ayrıca, UK ve YFC kullanımının beton maliyeti üzerine olan etkisi de ortaya konulmaya çalışılmıştır. Araştırma sonucunda, genel olarak beton içerisinde belli oranlarda kül ve cüruf kullanımının olumsuz etkileri olmadığı ortaya çıkmaktadır. Özellikle beton basınç dayanımlarının da kül ve cüruf ikamesinin erken yaşlarda dayanımı azalttığı, geç yaşlarda ise daha yüksek beton dayanımına sebep olduğu gözlemlenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Uçucu kül, Yüksek fırın cürufu, Atıkların değerlendirilmesi

**2014 , 55 sayfa**

## **ABSTRACT**

Postgraduate Thesis (Ph. D Thesis)

### **EFFECT OF USING FLYING ASH AND BLAST FURNACE SLAG IN THE PRODUCTION OF CONCRETE AND COST ANALYSIS**

**Yusuf YILMAZ**

Namık Kemal University  
Institute of Natural and Applied Sciences  
Department Of Biosystem Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Can Burak ŞİŞMAN

Nowadays, increasing energy needs in parallel with industrialization and used to satisfy this need for fossil fuels also brings significant environmental problems. Both ensuring a sustainable development and reducing environmental pollution to increase the quality of life can be provided by evaluation of such waste materials different areas. In this context, using and removing coal fly ash and blast furnace slag, especially as the pozzolan materials using concrete production, in the construction sector causing major environmental problems has been emphasized as an important subject in recent years.

The use of concrete as a building material in the world continues increasingly. Ease of application and being cheaper than other materials, are considered as important advantages. The cost of cement is the most important expense in concrete production. In recent years, reducing the amount of cement without disturbing the properties of concrete which standards required are being studied.

In this study, it is aimed to search the effects of FA and BAS taken from different factories which use as a puzzolan material in production of concrete to physical and some mechanical properties of the concrete. Also, the impact on the cost of concrete use of FA and BAS has tried to put forth. As a result of this research, it is clarified that in general the use of ash and slag in concrete at a certain rate has no negative effects. In particular, it has been observed that using ash and slag in concrete production reduces comprehensive strength of concrete at early ages but leads a higher strength in the long run.

**Key Words;** Flying Ash, Blast Furnace Slag, Evaluating of Waste

**2014 , 55 pages**

# İÇİNDEKİLER

## Sayfa

<b>ÖZET</b> .....	i
<b>ABSTRACT</b> .....	ii
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	iii
<b>ŞEKİL DİZİNİ</b> .....	v
<b>ÇİZELGE DİZİNİ</b> .....	vi
<b>KISALTMALAR</b> .....	vii
<b>1.GİRİŞ</b> .....	1
<b>2.KAYNAK ÖZETİ</b> .....	5
2.1. Puzolanlar .....	5
2.1.1. Puzolanların sınıflandırılması ve çeşitleri .....	5
2.1.2. Doğal puzolanlar.....	5
2.1.3. Yapay puzolanlar .....	6
2.1.3.1. Uçucu kül.....	6
2.1.3.1.1. Uçucu kül'lerin fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	8
2.1.3.1.2. Türk standartlarında uçucu kül .....	9
2.1.3.1.3. İnşaat sektöründe uçucu kül kullanımı .....	10
2.1.3.1.4. Uçucu küllerin değerlendirilmesi üzerine yapılan çalışmalar .....	11
2.1.3.2. Yüksek fırın cürufu.....	13
2.1.3.2.1. Çelik üretimi ve cürufun elde edilişi .....	14
2.1.3.2.2. Cürufun kimyasal ve fiziksel yapısı .....	15
2.1.3.2.3. Cürufun kullanım alanları.....	17
2.1.3.2.4. Yüksek fırın cürufunun betondaki kullanımı.....	18
2.2. Puzolan katkıların beton özelliklerine etkileri.....	20
<b>3.MATERYAL VE YÖNTEM</b> .....	22
3.1. Materyal.....	22
3.1.1.Uçucu kül.....	22
3.1.2. Yüksek fırın cürufu.....	23
3.1.3. Çimento .....	24
3.1.4. Beton karışım suyu .....	25
3.1.5. Agrega .....	25
3.1.6. Beton katkısı .....	26

3.2. Yöntem .....	27
3.2.1. Karışımlar .....	28
3.2.2. Numuneler üzerinde yapılan deneyler .....	35
3.2.3. Maliyet analizi .....	36
<b>4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA .....</b>	<b>37</b>
4.1. Taze beton özellikleri .....	37
4.2. Sertleşmiş betonun özellikleri .....	40
4.3. Karışımların maliyet analizi .....	44
<b>5. SONUÇ VE ÖNERİLER .....</b>	<b>47</b>
<b>6. KAYNAKLAR .....</b>	<b>50</b>
<b>TEŞEKKÜR .....</b>	<b>54</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>55</b>

## ŞEKİL DİZİNİ

	<b><u>Sayfa</u></b>
Şekil 2.1. Puzolanların sınıflandırılması .....	6
Şekil 2.2. İngiltere'deki termik santrallerden elde edilen UKlerin kullanım alanları .....	11
Şekil 2.3. Cürufun kullanım alanları .....	17
Şekil 2.4. Cürufun kullanım alanları .....	18
Şekil 3.1. Agreganın granülometri eğrisi.....	25
Şekil 3.2. Laboratuvar deneme betonları.....	30
Şekil 4.1. Priz süreleri .....	39
Şekil 4.2. Su emme miktarları .....	40
Şekil 4.3. Sertleşmiş betonun basınç dayanımları .....	41
Şekil 4.4. Basınç dayanımları (28 gün) .....	43



## ÇİZELGE DİZİNİ

### Sayfa

Çizelge 1.1. Türkiye’deki kömürle çalışan termik santraller .....	3
Çizelge 2.1. UK’lerin fiziksel özellikleri.....	8
Çizelge 2.2. Bazı UK’lerin kimyasal kompozisyonları.....	8
Çizelge 2.3. UK’lerin mineralojik yapıları.....	9
Çizelge 2.4. Uk ile ilgili Türk standartları.....	10
Çizelge 2.5. UK’lerin inşaat sektöründe kullanıldığı alanlar .....	10
Çizelge 2.6. YFC kimyasal analizi .....	15
Çizelge 2.7. Dünyadaki yüksek fırın cürufplarının karşılaştırmalı kimyasal analizi .....	16
Çizelge 2.8. Puzolanların taze beton özellikleri üzerine etkileri .....	21
Çizelge 2.9. Puzolanların sertleşmiş beton özellikleri üzerine etkileri .....	21
Çizelge 3.1. Deneylerde kullanılan UK’lerin kimyasal kompozisyonları.....	22
Çizelge 3.2. Deneylerde kullanılan UK’lerin fiziksel özellikleri .....	23
Çizelge 3.3. Çimento ve YFC’ na ait kimyasal özellikler.....	24
Çizelge 3.4. Yüksek fırın cürufu fiziksel özellikler.....	24
Çizelge 3.5. Çimentoya ait mekanik özellikler.....	25
Çizelge 3.6. Agrega elek analizi sonuçları ve fiziksel özellikleri .....	26
Çizelge 3.7. Beton katkısı özellikleri.....	26
Çizelge 3.8. Deneylerde kullanılan malzeme içerikleri.....	31
Çizelge 3.9. A numunesi su düzeltmesi yapılmış karışım hesabı.....	32
Çizelge 3.10. B <sub>1</sub> -B <sub>2</sub> -B <sub>3</sub> numunesi su düzeltmesi yapılmış karışım hesabı.....	33
Çizelge 3.11. C <sub>1</sub> -C <sub>2</sub> numunesi su düzeltmesi yapılmış karışım hesabı .....	34
Çizelge 3.12. Karışım oranları.....	35
Çizelge 3.13. Maliyet analizi için birim fiyatlar.....	35
Çizelge 4.1. Su düzeltmesi yapılmış karışım hesabı .....	38
Çizelge 4.2. Taze beton özellikleri .....	38
Çizelge 4.3. Sertleşmiş betonun basınç dayanımları .....	40
Çizelge 4.4. Priz süreleri ve su emme miktarları.....	41
Çizelge 4.5. Kazanım oranları .....	42
Çizelge 4.6. Sertleşmiş betonun birim ağırlıkları .....	43
Çizelge 4.7. Şahit (referans) beton maliyet analizi.....	44
Çizelge 4.8. Tüm beton numunelerin maliyet analizi.....	46

## KISALTMALAR

UK .....	Uçucu kül
ÖYFC .....	Öğütülmüş yüksek fırın cürufu
YFC .....	Yüksek fırın cürufu
TSE .....	Türk standartları enstitüsü
GYFC .....	Granüle yüksek fırın cürufu
SD .....	Silis dumanı
ASR .....	Alkali silika reaksiyonu

## 1.GİRİŞ

Günümüzde var olan sosyal ve kültürel eğilimlerin devam etmesi durumunda, önümüzdeki on yıllık süreçte düşük nüfus artış oranlarına paralel olarak, ortalama çekirdek aile büyüklüğünün ve aynı konutta ikamet eden aile üyelerinin sayısının azalacağını ileri sürmektedir. Konut başına düşen birey sayısı azalırken, yalnız yaşamayı tercih eden bireylerin sayısında da hızlı bir artış gözlenmektedir. Bunların yanı sıra Türkiye'nin 2050 yılında 100 milyon nüfusa ulaşmasıyla şehirleşmenin de %80 'e ulaşacağı tahmin edilmektedir. Büyük şehirlerde konut ihtiyacı hızla artmaktadır. Sonuç olarak, sürdürülebilir bir gelecek için çevreyi daha az kirleten, doğaya az zarar veren doğal kaynakları daha etkin kullanabilen, enerji verimliliği yüksek ve karbon salınımı daha düşük yapıların (binalar) tasarlanması gerekmektedir (Candemir ve ark.2012).

Doğaya saygılı, ekolojik, konforlu ve enerji tüketimini azaltmak üzere geliştirilen “yeşil binalar” aynı zamanda enerji verimliliği, çevre ve iklim değişikliğine karşı duyarlı, sağlık ve güvenliğine önem veren tüketicilerin de beklentilerini karşılamaktadır. Yeşil binalar, tasarımdan yapım, işletim ve yıkıma kadar geçen zaman zarfında insanlara ve çevreye duyarlı bir şekilde kaynaklarını verimli kullanan yapılar olarak adlandırılır. Yeşil binaların ilk maliyetleri %2 oranında daha yüksek olmasına karşın binanın yaşam süresi boyunca 10 kat daha fazla kar sağlamaktadırlar (Yılmaz 2013).

Beton, yirminci yüzyılın başından itibaren inşaat sektörünün vazgeçilmez ve en çok kullanılan malzemelerinden biridir.

Sürdürülebilir beton üretimi için çözüm yolları aşağıdaki gibidir.

- Kullanılan çimento miktarının azaltılması, katkı çimentoların kullanılması,
- Geri dönüşüm suyunun karışım suyu olarak kullanılması ve
- Betonun geri kazanılmasıdır.

Ayrıca çevreci yaklaşımla beton üretimi amacıyla, çok çeşitli atık malzemelerin ve geri kazanılmış ürünlerin betonda değerlendirilmesi araştırmaları yapılmaktadır.

Bu atıkların bir kısmı şunlardır.

- Yüksek fırın cürufu,

- Metakaolin,
- Geri kazanılmış ve atık plastik,
- Kullanılmış lastikler,
- Cam atıkları,
- Kömür kaynaklı uçucu küller,
- Odun kaynaklı uçucu küller,
- Pirinç külü atığı,
- Şehirselle kaynaklı katı atık külleri,
- Volkanik küller,
- Silis dumanı,
- Çimento fırını tozları,
- Döküm kumlarıdır.

Yukarıda belirtilen atık türlerinin betonda değerlendirilmesi için, ilgili şartların ve koşulların oluşturulması çalışmaları halen devam etmektedir. Bununla birlikte, termik santrallerden elde edilen kömür kaynaklı uçucu küller ile yüksek fırın cürufu ve silis dumanı gibi atıklar, artık günümüzde beton için standartlaşmış birer ürün olarak kullanılabilmekte ve atık olarak düşünülmemektedir (Yılmaz 2013).

Bu ve benzeri malzemelerin beton üretiminde kullanımının yaygınlaştırılması, çevre kültürünün ve çevresel bilincin geliştirilmesi ve atıkların değerlendirilmesi amacıyla araştırma geliştirme faaliyetlerine verilen önemin artırılması, hızlı sanayileşen ülkemizde üzerinde mutlak surette durulması gereken bir konudur.

Bu bağlamda atıkların değerlendirilerek ekonomiye kazandırılması ve betonda çimentonun azaltılması için, çalışmalara yapılması gerekmektedir (Çil 2003).

Dünya'da nüfus artışıyla birlikte ekonomik faaliyetler de artmaktadır ve doğal çevre hızla bozulmaktadır. Bu sebeple doğal kaynakların korunması tüm dünya için, önemli bir sorumluluk niteliği taşımaktadır. Nüfus artışı ile insanlar, yaşam alanı oluşturmak için daha

çok konut, yol, köprü, vb. yapılar inşa etmektedirler. Ayrıca zamanla eski yapıların yenilenme ihtiyacı doğmaktadır. Yapıların inşası için en çok kullanılan malzeme betondur. Beton üretiminde büyük oranda doğal kaynaklar kullanılarak tüketilirken, çevresel kirlilik de artmaktadır (Yılmaz 2013).

Son yıllarda beton üretiminde bazı atık maddeler kullanılmaya başlanmıştır. Özellikle ucucu kül ve yüksek fırın cürufu hemen hemen tüm üretimlerde kullanılmaktadır. Artık bu maddelerin kullanımı doğal kabul edilmekte ince agrega gibi işlem görmektedir.

Türkiye’de elektrik enerjisi, kömüre dayalı termik santraller, hidroelektrik santraller ve doğalgaz santrallerinden üretilmektedir. Düşük kalorili linyit kömürlerinin yakıldığı termik santrallerde, elektrik üretimi sırasında toz haldeki kömürün yanması sonucu baca gazları ile sürüklenen ve elektro filtreler yardımı ile tutularak atmosfere çıkışı önlenen, mikron boyutunda kül tanecikleri meydana gelmektedir. Endüstriyel bir atık olan ve uçabilen bu küllere, uçucu kül (UK) adı verilmektedir. Çizelge 1.1’de Türkiye’deki kömürle çalışan termik santraller ve kurulu güçleri verilmiştir.

Bu gün Dünya’da ortaya çıkan uçucu kül miktarı yılda 600 milyon ton civarındadır. Türkiye’de halen Afşin-Elbistan, Çatalağzı, Çayırhan, Kangal, Kemerköy, Orhaneli, Seyitömer, Soma, Tunçbilek, Yatağan ve Yeniköy santralleri olmak üzere, 11 termik santral faaliyet göstermektedir. Bu santrallerden yıllık uçucu kül üretimi ortalama 13 milyon ton kadar olmakta, ancak doğalgaz santrallerinin devreye girmesi ile yıldan yıla değişmektedir. Bu miktar, A.B.D.’de 45 milyon ton/yıl ve Hindistan’da 50 milyon ton/yıl dolayındadır (Türker ve ark. 2009).

Çizelge 1.1. Türkiye’deki kömürle çalışan termik santraller

No	Santral adı	Yakıt cinsi	Kurulu güç (MW)	Bulunduğu il
1	Afşin-A	Linyit	1355	Kahramanmaraş
2	Afşin-B	Linyit	1440	Kahramanmaraş
3	Çayırhan	Linyit	620	Ankara
4	Çatalağzı	Taşkömürü	300	Zonguldak
5	Kangal	Linyit	457	Sivas
6	Kemerköy	Linyit	620	Muğla
7	Orhaneli	Linyit	210	Bursa
8	Seyitömer	Linyit	600	Kütahya
9	Soma A-B	Linyit	1034	Manisa
10	Tunçbilek A-B	Linyit	429	Kütahya
11	Yatağan	Linyit	630	Muğla
12	Yeniköy	Linyit	420	Muğla

Bütün Dünya’da bir yılda üretilen toplam UK’ün ancak %20’si değerlendirilmektedir. Bununla birlikte Almanya, Hollanda ve Belçika’da üretilen toplam UK’ün %95’den fazlası, İngiltere’de ise yaklaşık %50’si kullanılmaktadır. Diğer taraftan büyük miktarlarda UK üretilen A.B.D. ve Çin’de sırasıyla yaklaşık %32 ve %40 oranında UK kullanıldığı görülmektedir. Bin dokuz yüz doksan yılı verilerine göre Türkiye’de UK kullanım oranı, %1’den daha azdır (Neville ve Brooks 1987, Aruntaş 2006).

Uçucu küller (UK) betonda mineral katkı olarak kullanılan yapay bir puzolandır. Çoğunlukla kendi başlarına bağlayıcı olmadıkları halde, sönmüş kireçle hidrasyon reaksiyonuna girerek suda sertleşirler. UK’ler beton teknolojisinde ya çimento ile birlikte doğrudan betona katılarak ya da betonda kum yerine kullanılabilirler. Çimento üretimi sırasında klinkere katılıp öğütülerek uçucu küllü çimento olarak da değerlendirilebilirler (Topçu ve Canbaz 2001).

Türkiye 2006 yılı sonunda, 1244 milyon ton olarak hesaplanan dünya demir çelik üretiminin %1.87’sini gerçekleştirmektedir. Demir-çelik üretimi sırasında oldukça önemli miktarlarda yüksek fırın cürufu (YFC) atığı oluşmaktadır. Oldukça yüksek sıcaklıkta olan YFC çok hızlı soğutulursa, amorf yapıda granüle halde ince bir malzeme haline gelmektedir. Bu hali ile betonda kum yerine kullanılabilir. Öğütülmesi durumunda, amorf yapıya sahip olduğundan, yüksek miktarlarda  $SiO_2$  ve  $Al_2O_3$  içerdiğinden bağlayıcı özellik gösterir ve bu nedenle çimento üretiminde ve beton katkı maddesi olarak kullanılabilir.

Demir-çelik üretiminde kullanılan yüksek sıcaklıklı fırınlarda, demir oksit (maden filizi, peletler, sinter), akıcılık düzenleyiciler (kalker, dolomit), ve yakıt (kok) kullanılır. Fırından iki ürün elde edilir. Fırının alt kısmında toplanan erimiş demir ve erimiş demir üzerinde yüzen sıvı ise yüksek fırın cürufu olarak ifade edilir. Yüksek fırın cürufunun kompozisyonu yüksek fırına dökülen maden filizine, akıcı taşa ve kottaki safsızlıklara bağlıdır. Endüstriyel bir atık olarak oluşan yüksek fırın cürufu depolanmasının zor olması nedeni ile, beton sektöründe kullanılması ekonomik sürdürülebilirlik ve çevrenin korunması bakımından önem taşır (Okyay ve Akkaya 2011).

Ayrıca mineral katkıların önemi, etkileri ve nasıl kullanıldıkları da maliyet açısından son derece önemlidir. Bu çalışmada zaten artık beton bileşeni olarak kabul edilen kül ve cürufun, beton özelliklerine olumlu veya olumsuz etkileri deneysel olarak araştırılmıştır.

## 2. KAYNAK ÖZETİ

### 2.1. Puzolanlar

Puzolanların tanımı American Society for Testing and Materials (ASTM) C 618'e göre, kendi kendine bağlayıcılık özelliği çok az olan veya hiç olmayan ancak uygun rutubet şartlarında ve normal ortam sıcaklığında kireç ile reaksiyona girip bağlayıcı özelliği olan ürünler açığa çıkararak, ince toz halindeki silisli veya alüminli maddelere puzolan denir. Puzolanlar esasen reaktif silisyum dioksit ( $\text{SiO}_2$ ) ve alüminyum oksit ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )'den oluşmuştur. Geri kalan kısım demir oksit ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) ve diğer oksitleri ihtiva eder.

Puzolanlar, doğal olarak meydana gelen malzemeleri (başlıca volkanik orijinli malzemeler) ve yapay malzemeler olan kül, YFC vb. malzemeleri kapsamaktadır (Gani 1997, Gündeşli 2008).

#### 2.1.1. Puzolanların sınıflandırılması ve çeşitleri

Puzolanlar doğal ve yapay olmak üzere ikiye ayrılırlar. Doğal puzolanlar; temelde az çok değişikliklere uğramış, genellikle volkanik kaynaklı tortul kayalardan oluşmuş malzemelerdir. Yapay puzolanlara ise termik santrallerden çıkan uçucu küller, çelik üretiminde meydana gelen cüruf, silis dumanı ve prinç kabuğu külü örnek verilebilir.

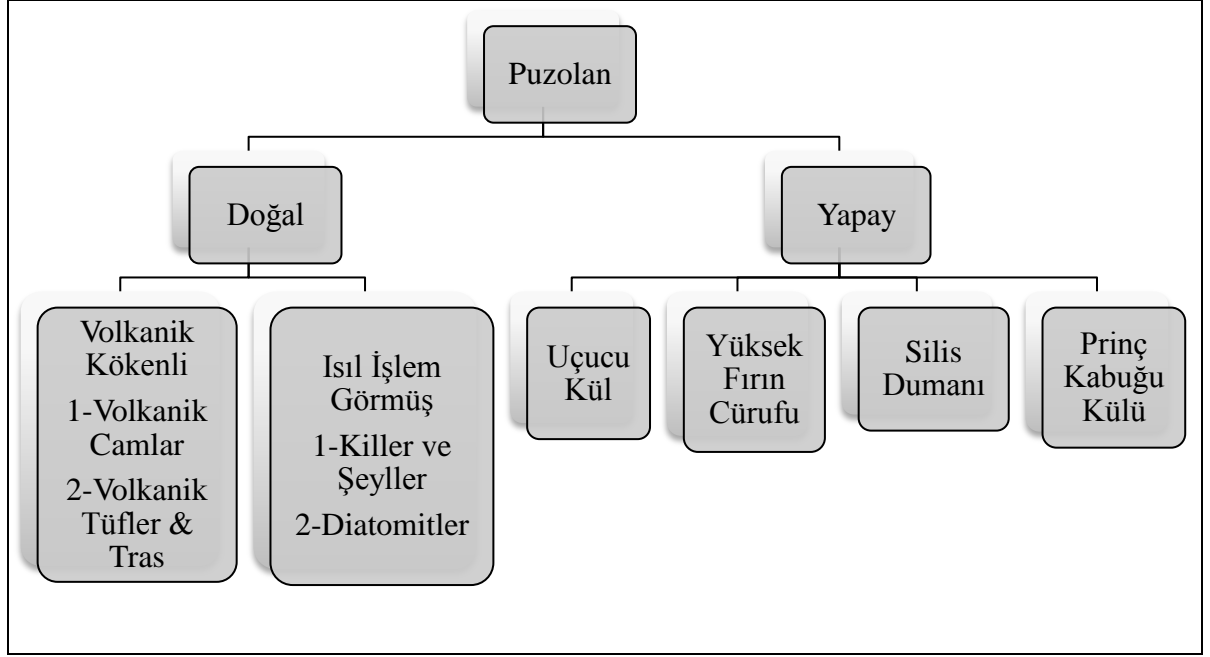
Doğal ya da yapay bütün puzolanlar, reaksiyon kapasiteleri açısından üç bileşenden meydana gelirler (Leckeubush 1984, Gündeşli 2008).

- Aktif tertip maddeleri: Az ya da çok değişmiş cam fazları, opal, silisli toprak, zeolitler.
- Atıl bileşenler: Zeolitlerden farklılık gösteren kristal fazları (augit, piroksen ve saf çini).
- Zararlı (istenmeyen) bileşenler: Organik maddeler, kalay ve karbon maddeleri (Dayı 2006 , Gündeşli 2008).

#### 2.1.2. Doğal puzolanlar

Doğada bulunan ve ön işlem yapılarak veya doğrudan öğütülerek kullanılan puzolanlardır. Volkanik küller, tuf, tras vb mineraller bu gruba girer. TS EN 197'de P harfi olarak kısaltılmıştır. Yurdumuzun birçok bölgesinde doğal puzolan bulunmaktadır. Şekil 2.1'de doğal ve yapay puzolanlar gösterilmiştir.

Doğal puzolanlar :



Şekil 2.1. Pozolanların sınıflandırılması şematik olarak gösterilmiştir.

1. Volkanik kökenli doğal pozolanlar
  - a. Volkanik cam
  - b. Volkanik tüfler ve tras
2. Isıl işlem görmüş doğal pozolanlar
  - a. Killer ve şeyller
  - b. Diatomitler olarak sınıflandırılabilir.

### 2.1.3. Yapay pozolanlar

Yapay pozolanlara ise uçucu küller, cüruf, silis dumanı ve prinç kabuğu külü örnek verilebilir.

#### 2.1.3.1. Uçucu kül

Birçok termik santralde, elektrik üretimi için gerekli enerjiyi sağlayabilmek amacıyla, yakıt olarak pulverize kömür kullanılmaktadır. Dolayısı ile atık malzeme olarak değişik karakterlerde küller elde edilmektedir. Pulverize kömürün yanmasıyla ortaya çıkan küllerin bir kısmı ocak tabanında birikirken, yaklaşık %75 - 80'i gazlarla birlikte bacadan dışarıya sürüklenmektedir. Bu küllere “uçucu kül” ya da “pulverize yakıt külü” denilmektedir (Erdoğan 1993).



Modern termik santrallerde en önemli atık malzeme; toz kömürün yanmasıyla meydana gelen, baca gazlarıyla sürüklenen çok ince kül parçacıklarıdır. Bu ince kül parçacıkları elektrostatik yöntemlerle elektro filtrelerde ve siklonlarda yakalanmakta ve baca gazları ile atmosfere çıkışları önlenmektedir. Uçucu kül tanecikleri genellikle küresel yapıda olup büyüklükleri 1-200 µm arasında değişmektedir. Uçucu küllerin tane boyutları termik santraldeki kül toplama yöntem ve ekipmanlarına bağlıdır. Siklonlarda toplanan küller, elektro filtrelerde toplananlardan daha iri tanelidirler. Uçucu küllerin renkleri açık bejden kahverengiye, griden siyaha kadar değişik tonlarda olabilir. İçindeki yanmamış karbon miktarı artıça uçucu küllerin rengi koyulaşır (Ünal ve Uygunoğlu 2004).

Tane boyutları 0,5 – 150 mikron olan, kısmen veya tamamen küresel şekilli küllerin bacadan çıkarak çevreye yayılmasını önlemek gerekmektedir. TS EN 197-1 “Çimento - Genel Çimentolar - Bileşim, Özellikler ve Uygunluk” standardında belirtilen tipteki uçucu küller, elektrostatik veya mekanik olarak çöktürülme ile elde edilmektedirler. Yine bu standarda göre, diğer metotlarla elde edilen uçucu küller puzolanik madde olarak kullanılamazlar. ASTM C 618 standardına göre uçucu küller F ve C sınıflarına ayrılırlar:

**1-** F sınıfına, bitümlü kömürden üretilen ve toplam  $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$  yüzdesi %70’den fazla olan uçucu küller girmektedir. Aynı zamanda bu küllerde reaktif kireç (CaO) yüzdesi %10’un altında olduğu için, düşük kireçli olarak da adlandırılırlar. F sınıfı uçucu küller, puzolanik özelliğe sahiptirler.

**2-** C sınıfı uçucu küller ise, linyit veya yarı bitümlü kömürden üretilen ve toplam  $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$  miktarı %50’den fazla olan küllerdir. Aynı zamanda, C sınıfı uçucu küllerde CaO %10’dan fazla olduğu için, bu küller yüksek kireçli uçucu kül olarak da adlandırılırlar.

C sınıfı uçucu küller, puzolanik özelliğin yanı sıra bağlayıcı özelliğe de sahiptirler. TS EN 197-1’e göre uçucu küller silissi (V) veya kalkersi (W) olmak üzere iki gruba ayrılırlar. Silissi uçucu külün puzolanik özellikleri vardır. Kalkersi uçucu külün ise hidrolik özelliklerine ilâveten puzolanik özellikleri olabilmektedir (Gündeşli 2008).

UK’lerin çoğu, C sınıfı UK olarak isimlendirilmektedir. Diğer bir sınıflandırma, ENV 197-1’e göre yapılmakta ve UK, iki kategoriye ayrılmaktadır. Buna göre UK’lü çimentolarda kullanılacak olan UK’ler, silisli ve kalkerli UK’ler olarak sınıflandırılmıştır (Aruntaş 2006).

### 2.1.3.1.1. Uçucu küllerin fiziksel ve kimyasal özellikleri

UK'ün fiziksel özellikleri, genel olarak termik santralde yakılan kömürün özelliklerine ve yanma sistemine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Genellikle gri renktedir ve rengi, içindeki yanmamış karbon miktarı arttıkça, daha koyu bir hal almaktadır. UK, %60-90 camsı bileşen ihtiva eden çok ince taneciklerden meydana gelmektedir. UK'ün tane şekli, yuvarlaktır ve çapları, 1-200 µm arasında değişir. Taneciklerin yaklaşık % 75'inin çapı 45 µm'den, %50'den çoğu ise 20 µm'den daha küçüktür. UK'ün yoğunluğu, 2.2- 2.7 g/cm<sup>3</sup> dolayındadır (Çizelge 2.1). UK'ün özgül yüzeyi, çimento inceliğine yakın olup öğütme yapılmadan kullanılabilceğini göstermektedir (Aruntaş 2006).

Çizelge 2.1. UK'lerin fiziksel özellikleri

Çap (µm)	Şekil	Renk	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	İncelik (µm)
1-200	Yuvarlak	Gri	2.2- 2.7	<90

UK'lerde S+A+F toplamının, genellikle % 70 değerinden fazla olduğu ve ASTM C 618'deki şartın sağlandığı görülmektedir. Türkiye'de elde edilen bazı UK'lerin kimyasal kompozisyonları, TS 639 ve ASTM C 618 sınır değerleri ile birlikte çizelge 2.2 de verilmiştir.

Çizelge 2.2. Bazı UK'lerin kimyasal kompozisyonları

Bileşim (%)	Afşin-Elbistan	Çatalağzı	Tunçbilek	Çayırhan	TS 639 sınırları	ASTM C 618 sınırlar	
						F	C
SiO <sub>2</sub>	27.4	56.8	58.59	49.13	-	-	-
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12.8	24.1	21.89	15.04	-	-	-
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.5	6.8	9.31	8.25	-	-	-
S+A+F	45.7	87.7	89.79	72.42	>70	>70	>50
CaO	47.0	1.4	4.43	13.2	-	-	-
MgO	2.5	2.4	1.41	4.76	<5	<5	<5
Na <sub>2</sub> O	(N+K)0.3	(N+K)3.0	0.24	2.2	-	<1.5	<1.5
K <sub>2</sub> O	-	-	1.81	1.76	-	-	-
SO <sub>3</sub>	6.2	2.9	0.41	3.84	<5	<5	<5
K.K	2.4	0.6	1.39	0.72	<10	<12	<6

Kullanılan kömür cinsine bağlı olarak bazı UK'lerde önemli oranda CaO bulunmaktadır (Aruntaş 2006).

CaO miktarı %10'un altında olan UK'ler, düşük kireçli veya düşük kalsiyumlu, %10'un üstünde olanlar ise yüksek kireçli veya yüksek kalsiyumlu UK olarak adlandırılmaktadır. ASTM C 618'e göre UK'ler, S+A+F toplamı %70'in üzerinde ise F sınıfı UK, S+A+F toplamı %50'nin üzerinde ise C sınıfı UK olarak gruplandırılmaktadır. (Aruntaş 2006).

UK'lerin puzolanik özellikleri, kimyasal bileşiminden daha çok mineralojik yapıları ile ilişkilidir. Çizelge 2.3'de UK'lerin mineral yapıları verilmiştir. Düşük kireçli UK'lerin ana aktif bileşeni, silis ve aluminadan oluşan amorf ya da camsı fazdır. Bu tip UK'ler, rutubetli ortamda sönmüş kireç (CaOH<sub>2</sub>) ile reaksiyona girdikleri için puzolanik özelliğe sahiptirler (Aruntaş 2006).

Çizelge 2.3. UK'lerin mineralojik yapıları

Mineral	Uçucu Kül					
	Afşin-elbistan	Çatalağzı	Seyitömer	Soma	Tunçbilek	Yatağan
Mullit	1	18.1	1.2	4.3	8.8	6.0
Kuvartz	4.5	10.9	5.6	5.1	13.9	22.4
Manyetit	0.8	0.2	2.5	0.6	4.1	2.9
Hematit	4.0	0.1	6.0	2.0	3.0	7.0
Anhidrit	12.2	-	9.3	7.4	-	-
Serbest CaO	18.6	0.7	5.5	9.8	0.9	1.0
Plajiyoklaz	~28	-	~15	~20	-	~25
Camsı amorf	~30	~70	~50	~50	~70	~35

#### 2.1.3.1.2. Türk standartlarında uçucu kül

Türk Standartları Enstitüsü, UK ile ilgili olarak beş tane standart yayınlamıştır. Bunlar sırasıyla, TS 639, TS 640, TS EN 450, TS EN 451-1 ve TS EN 451-2 standartlarıdır. Bu standartlara ait bilgiler, Çizelge 2.4 de sunulmuştur. TS 640, AB'ye uyum çerçevesinde yürürlükten kaldırılmış ve yerine TS EN 197-1 "Çimento-Bölüm 1: Genel Çimentolar" standardı uygulamaya konulmuştur (Aruntaş 2006).

Çizelge 2.4. Uk ile ilgili Türk Standartları

Standart no	Standardın adı	Açıklama
TS 639	Uçucu küller-çimentoda kullanılan	Tarifi, sınıflandırılması, özellikleri, deney metotları ve kalite kontrolü
TS 640	Uçucu küllü çimento	Fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri ve deney metotları
TS EN 450	Uçucu kül-betonda kullanılan	Özellik ve kalite kontrolü
TS EN 451-1	Uçucu kül-Deney metodu- Bölüm 1	Serbest kalsiyum oksit tayini
TS EN 451-2	Uçucu kül-Deney metodu- Bölüm 2	Islak eleme ile incelik tayini

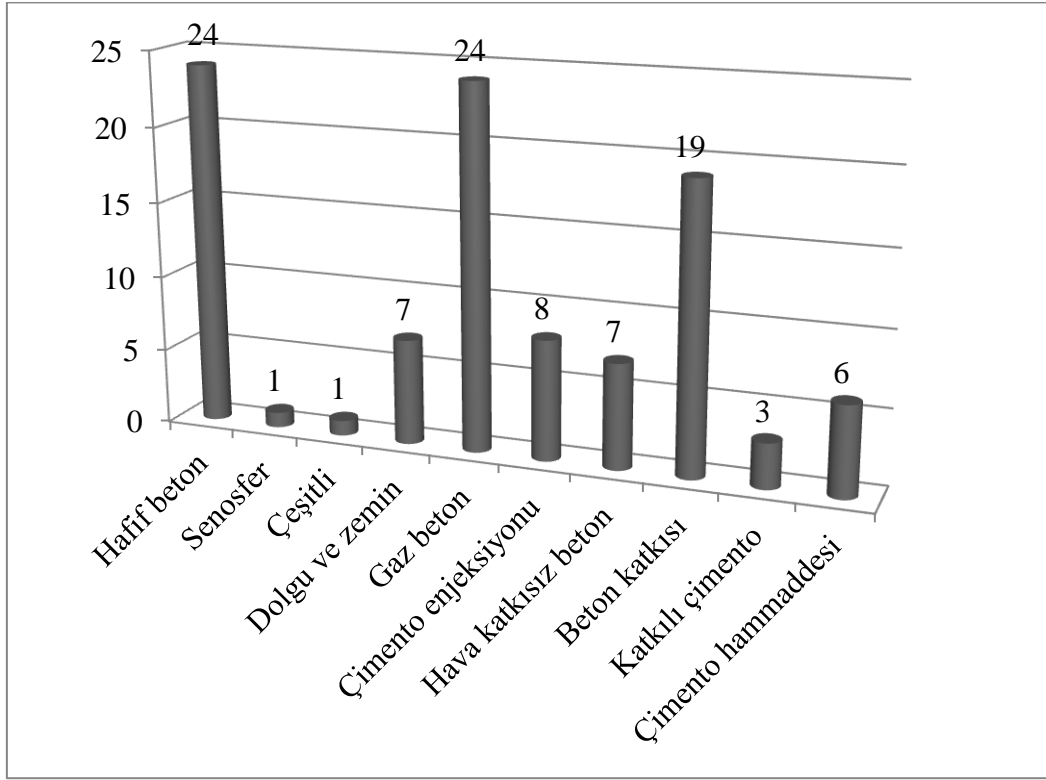
### 2.1.3.1.3. İnşaat sektöründe uçucu kül kullanımı

Dünyada 1970'li yıllarda başlayan petrol krizinin sonucunda UK lerin kullanılmasına yönelik çalışmalar artmış ve halen devam etmektedir. Çizelge 2.5'de UK'lerin inşaat sektöründe kullanıldığı alanlar verilmiştir. UK'lerin fiziksel, kimyasal ve mineralojik özellikleri incelendiğinde, bunların inşaat sektöründe rahatlıkla kullanılabilceği ve dolayısıyla bir yandan malzeme ve enerji üretiminde ekonomi sağlanırken diğer taraftan çevre kirliliğinin önlenmesi ile ekolojik dengenin korunması da mümkün olmaktadır.

Çizelge 2.5. UK'lerin inşaat sektöründe kullanıldığı alanlar

Malzeme	Kullanım Amacı/Yeri
Çimento	Hammadde, katkı ve ikame malzemesi olarak
Agrega	İnce agrega, iri agrega ve hafif agrega olarak
Beton	Katkı ve ikame malzemesi olarak
Tuğla, ateş tuğlası	Katkı malzemesi olarak
Kerpiç	Bağlayıcı malzeme olarak
Yapı malzemeleri	Blok, panel, duvar, gaz beton, beton boru, cam, boya, seramik, plastik, harç
Çeşitli yapılar /uygulamalar	Baraj, otoyol, nükleer santral, geoteknik uygulamalar

Türkiye’de UK kullanımına ait detaylı veriler bulunmamakla birlikte genellikle çimento ve tuğla üretimi ile baraj yapımında kullanıldığı görülmektedir. Avrupa’da inşaat sektöründe UK kullanımına örnek olarak İngiltere’deki durum Şekil 2.2’de gösterilmiştir. İngiltere’de UK’ün ağırlıklı olarak beton, hafif beton, blok ve gaz beton blok üretiminde kullanıldığı görülmektedir (Aruntaş 2006).



Şekil 2.2. İngiltere’deki termik santrallerden elde edilen UK’lerin kullanım alanları

#### 2.1.3.1.4. Uçucu küllerin değerlendirilmesi üzerine yapılan çalışmalar

Uçucu küllerin miktar bakımından en fazla potansiyel kullanımı çeşitli inşaat mühendisliği alanlarıdır. Yaklaşık 60 yıllık bir süreden beri yapılan araştırmalar uçucu küllerin çimento, beton, gaz beton, tuğla ve hafif agrega üretiminde, zemin stabilizasyonunda ve dolgu yapımında kullanımının olumlu sonuçlar verdiğini göstermiştir. Bu çalışmalardan bazıları şöyle özetlenebilir.

Ramyar (1993), betonda uçucu kül kullanımının önemli birçok avantaj sağladığını belirtmiştir. Uçucu küllerin kullanımıyla elde edilebilecek yararlar, yalnızca çevre koruma ve enerji tasarrufu ile sınırlı değildir. Betonda kullanıma uygun bir uçucu kül betonun daha ekonomik ve daha uzun ömürlü performans düzeyi sağlamasına sebep olur. Betonda katkı

maddesi olarak uçucu kül kullanımının özellikle kütle yapılarında daha pratik ve ekonomik olduğunu belirtmektedir.

Şimşek (2004), özellikle kütle betonlarında çimentonun ağırlıkça %20-25 oranında uçucu kütle değiştirilebileceği belirtmektedir. Uçucu külün ince agrega yerine kullanıldığı karışımlarda ise %25 katkı oranının uygun olacağını belirtmiştir. Uçucu külün çok düşük oranda kullanılması halinde betonda alkali-agrega reaksiyonlarına yol açabileceğini de belirtmiştir.

Betonda kısmen çimento yerine kullanıldığı zaman uçucu külün, çimentonun ancak yarısı kadar hidratasyon ısıyı yaydığı tespit edilmiştir. Fransa'da yapılan araştırmalara göre, klinker ile beraber öğütülmüş külün hidratasyon ısısında değişiklik yapmadığı tespit edilmiştir (Gül ve Yıldız 1997).

Uçucu külün çimentoya katılması ile betonda veya çimento hamurunda biraz hacim genişmesi olmakta, rötre ise azalmaktadır. Normal kür metotları ile yüksek incelik ve düşük karbon miktarı taşıyan uçucu küllü betonlarda ağırlıkça çimento miktarı kadar uçucu kül kullanılmışsa, ilk 90 günde betonun basınç dayanımının normal betona göre düşük olduğu, fakat bu süreden sonra normalin üstüne çıktığı belirtilmektedir (Ünal ve Uygunoğlu 2004).

Sakarya Üniversitesi'nde yapılan bir çalışmada, uçucu kül katkılı betonların basınç dayanımları karışımdaki uçucu kül miktarına bağlı olarak azalma eğilimi göstermektedir. Çalışma da %10 ve %20 oranlarında uçucu kül kullanımı ile elde edilen betonların basınç dayanımları irdelendiğinde, şahit betona yakın değerler elde edilmektedir. Yapılan araştırma sonucunda endüstriyel atık olan uçucu külün %20 oranında çimento yerine kullanılmasının beton basınç dayanımı açısından olumlu sonuçlar verdiği, bu nedenle hem çimento hammaddesinden ekonomi sağlamak, hem de atık malzemenin değerlendirilmesi yönünden beton üretimin de kullanılmasının gereği ortaya çıkmaktadır (Sümer 1998).

Kılcal geçirimsizlik katsayısı durabilitenin bir göstergesi olarak kabul edilirse uçucu külün etkisi kesinlikle olumlu görülmüştür. Uçucu kül kullanımı, kılcal geçirimsizliği azaltmaktadır. Diğer taraftan kül kullanılması, erken dayanımları olumsuz etkilemektedir. Bu olumsuz etki %10 ve %20 ikame oranları için düşük, ancak %30 ve %40 ikame oranları için daha belirgin olmaktadır. (Sümer 1998)

Kılcal kanallar beton içinde meydana gelen ince boşluklardır ve gözle görülmez. Bu kanalları minimize etmek için, karışımda ince tanelerin kullanılması gerekir. Beton da kılcal geçirimsizliğin az olması istenir. Çünkü betonun servis ömrü boyunca dayanımının azalmaması istenir. Bunu sağlamanın en önemli yollarından biri kılcal geçirimsizliğin az olması ve böylece donma çözülme olaylarında betonun zarar görmemesidir (Dal ve ark. 2013).

Uçucu küllü betonların donmaya karşı dayanımı konusunda net ve kesin sonuçlar elde edilememiş ve deney şartlarına, kür süresinin farklılığına bağlı olarak değiştiği belirlenmiştir. Uçucu küllü betonların normal betonlardan daha fazla kür süresine ihtiyaç duydukları tespit edilmiştir. Aksi takdirde, uçucu külün betonun dona dayanıklılığını olumsuz etkilediği düşünülmektedir (Çil 2003).

Çelik ve ark. (2003) yaptıkları çalışmada Seyitömer ve Çayırhan UK'leri, çimento hamurunun priz başlama ve priz sonu sürelerini artırdığını tespit etmişlerdir.. Çayırhan UK'ünün priz sürelerine etkisi daha fazla olduğunu söylemektedirler.

Topçu ve Canbaz (2001) yaptıkları çalışmada İşlenebilirlik açısından yapılan incelemelerde, dozaj azaldıkça UK katılan betonlarda UK katkısız kontrol betonlarına göre Ve Be süresinin azaldığı görülmüştür. UK kullanımının beton basınç dayanımını azalttığı ve UK miktarının artırılması durumunda dayanımın daha da geç kazanıldığı anlaşılmıştır. İki bin yılı birim fiyatları ile yapılan maliyet analizinde çimento yerine %20 UK kullanılması ile beton birim maliyetinde ortalama %10'luk, %40 UK kullanılması ile de %18'lik bir ekonomik kazanç elde edilmektedir. Ayrıca endüstriyel bir atık olması UK betonda kullanılması ile bu atığın depolanması maliyetini de düşeceğini söylemektedirler.

Subaşı (2008) uçucu kül kullanarak yaptığı beton basınç deneylerinde, basınç dayanımı sonuçları incelendiğinde uçucu kül miktarı arttıkça, basınç değerlerinin düştüğü istenilen dayanımı %10 uçucu külün üstündeki karışımlarda sağlamadığı, uçucu külün çimento gibi dayanım kazandırmadığını ifade etmektedir.

### **2.1.3.2. Yüksek fırın cürufu (YFC)**

Cüruf çelik üretimi sırasında oluşan bir atıktır. Ancak bu tanım “Çelik üretimi sırasında ortaya çıkan, ekonomik bir değeri olan yan ürün” olarak değişmektedir. Bir ton çelik üretiminden ortalama 250 kilo, yani %25 oranında cüruf meydana gelmektedir. Ereğli Demir Çelik fabrikasında yılda yaklaşık 600,000 ton YFC ortaya çıkmaktadır. Üretilen cürufun hemen hemen tamamı başta inşaat sektörü olmak üzere değişik sektörlerle satılmaktadır (Bilgen ve ark. 2010).

ABD 1990 yılında “Temiz Hava Hareketi Kanun Düzenlemeleri” (The Clean Air Act Amendments) sülfür dioksit emisyonunu azaltmak için bir karar almıştır. Bu karar kömür yakmayla üretilen, uçucu kül, yanan cüruf ve kükürt giderici uçucu gaz (flue gas desulfurization FGD) gibi maddelerin geniş miktarlarda üretilmesine yol açmıştır (Butalia ve ark. 2000, Bilgen ve ark. 2010).

Yapılan bir çalışmaya göre Kazakistan’da 475 hektarlık bir alanda 12 milyon ton cüruf atığı bulunmakta ve yeraltı suyu ile havaya karışmak sureti ile tehlike oluşturduğu belirtilmiştir. Ancak bu cüruf arıtma işlemlerinde bor cevheri eklenmek sureti ile çakıl haline getirilerek kullanılmaya başlanmış ve böylece atık sahalarının %70’i boşaltılmıştır. (Bilgen ve ark. 2010).

Polonya’da yapılan bir araştırmaya göre elektrik üretim istasyonları ve termal güç istasyonlarından toplam 267 milyon tonun üzerinde atık elde edilmiştir. Bu atıkların önemli bir kısmı kül ve cüruftur. Her 1 kWh elektrik veya ısıtma enerjisi üretiminden, kullanılan kömürün kalitesine bağlı olarak yaklaşık 35 ile 220 g civarında uçucu kül ve cüruf elde edilmektedir. Bunlar dolgu olarak sığ göllerde kullanılmaktadır (Bilgen ve ark.2010).

Finlandiya’da yılda yaklaşık 6 milyon tonun üzerinde cüruf oluşmaktadır. Bunlardan cüruf, beton ve yol yapımında kullanılmaktadır. Kanada’da yapılan bir çalışmaya göre cüruf 500–900 °C de ısıtıldığında içindeki serbest kalsiyum oksit, kalsiyum karbonata dönüşmekte ve bu yol yapımı için çok ideal bir malzemeye dönüşmektedir (Bilgen ve ark. 2010).

Birçok ülkede ve ülkemizde cüruf üzerine yapılan çalışmalarda çok olumlu sonuçlar alınmıştır. Cürufun yeraltı suyundan etkilenmediği ve arazide kullanımının uygun olduğu ve YFC’nun yol stabilizasyonunda kireç ile birlikte katkı malzemesi olarak kullanılabilceği görülmüştür (Bilgen 2004, Bilgen ve ark. 2010).

#### **2.1.3.2.1. Çelik üretimi ve cürufun elde edilişi**

Yoğun olarak demir filizleri içeren kaya yapıları “Yüksek Fırın” denilen fırınlarda 1400 °C’de sıcaklığa maruz bırakılırlar ve bu sıcaklıkta demir filizleri eritilir. Eriyen demir filizleri, birim hacim ağırlıklarının yüksek olması sebebi ile aşağı doğru hareket etmeye başlarlar ve akkor halinde akarlar. Akkor halinde eritilmiş demir, vagonlarla çelikhaneye taşınır. Geriye ise 1400 °C’de sıcaklığa maruz kalmış olan kayaç kalıntıları kalır ve bu kalıntı açık havada soğumaya bırakılır. Soğuduktan sonra 2-5 mm arasında dane boyutuna sahip kum görüntüsüne sahip bir hal alır. Bu malzemeye Yüksek Fırın Cürufu (YFC) denir.

Vagonlarla çelikhaneye taşınan, akkor halindeki demirin içerisine, karbon ve istenilen özelliklere göre diğer elementler eklenir. Bu esnada, akkor halindeki demire bol miktarda “Kireç” eklenmektedir. Elde edilen karışım istenilen şekilde boyutlandırılır ve istenilen özelliklere sahip çelik elde edilmiş olur. Çelikhanedeki karışım işlemlerinde de geriye bir takım kalıntılar kalmaktadır. Buradan çıkan kalıntı malzemeye de “Çelik Cürufu” denir. Bu



kalıntı malzemeleri, içerisindeki CaO/SiO<sub>2</sub> oranı, 1'den küçük olması durumunda asidik, 1'den büyük olduğunda bazik olarak adlandırılmaktadır (Bilgen ve ark. 2010).

### 2.1.3.2.2. Cürufun fiziksel ve kimyasal yapısı

Çelik üretiminde, iki farklı cüruf söz konusudur:

- 1.Yüksek Fırın Cürufu (YFC)
2. Çelikhane Cürufu “Basic Oxygen Furnace” (BOF)

Elde edilişleri farklı olan bu iki cürufun kimyasal ve fiziksel özellikleri farklılıklar göstermektedir. Erdemir Ar-Ge Laboratuvarlarının verilerine göre hazırlanan cürufların kimyasal analiz sonuçları Çizelge 2.6'da verilmektedir.

Demir cevherleri doğada esas olarak içerdikleri demir oksit bileşimlerinin yanı sıra silis, alümin, kükürt, fosfor ve mangan gibi bazı elementleri de bünyesinde bulundurmaktadır. (Erdoğan 2003).

Çizelge 2.6. YFC kimyasal analizi (Bilgen ve ark. 2010)

	<b>Yüksek Fırın Cürufu</b>	<b>Çelikhane Cürufu</b>
CaO	36-43	48-54
CaO (Serbest)	-	1-10
SiO <sub>2</sub>	35-39	11-18
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8-12	1-4
MgO	4-12	1-4
Toplam Fe	<0,5	14-19
Toplam Mn	<0,5	1-4
Na <sub>2</sub> O	<0,5	-
K <sub>2</sub> O	<0,7	-
S	1.2-1.6	-
CaO/SiO <sub>2</sub>	1.0-1.2	2.8-4.4

Cürufun kimyasal yapısı, demir cevherinin kimyasal yapısını yansıtmaya karşın, cürufu oluşturan kireç, silis, aliminyum yüzde miktarları önemli şekilde değişiklikler göstermektedir (Çizelge 2.7). Bu değişiklikler sadece demir cevherinin yapısından değil, kok

kömüründen, ekonomi sağlamak için farklı demir cevherleri ile hazırlanan karışımlardan ve yüksek fırındaki yüksek dereceli sıcaklıklardan meydana gelmektedir ( Bilgen ve ark. 2010).

Çizelge 2.7. Dünyadaki yüksek fırın cürüflarının karşılaştırmalı kimyasal analizi (Bilgen ve ark. 2010)

	<b>ABD ve Kanada</b>	<b>Güney Afrika</b>	<b>Avusturalya</b>	<b>Türkiye</b>	<b>Portland Çimentosu</b>
CaO	29-50	30-40	38-44	34-41	60-67
SiO <sub>2</sub>	30-40	30-36	33-37	34-36	17-25
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7-18	9-16	15-18	13-19	3-8
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.1-1.5	-	0-0.7	0.3-2.5	0.5-6.0
MgO	0-19	8-2.1	1-3	4-7	0.1-4.0
MnO	0.2-1.5	-	0.3-1.5	1-2.5	-
S	0-0.2	1-1.6	0.6-0.8	1-2	-
SO <sub>3</sub>	-	-	-	-	1-3

Kendi halinde soğumaya bırakılan cürufun granülometrisi çok düzensizdir. Ancak eleme ve kırma işlemine tabii tutulduğunda, istenilen granülometriye getirilebilir. Havada soğutulan YFC kırılıp elendiği zaman fiziksel özellikleri genel olarak, diğer agregalara nazaran özel avantajlar göstermektedir. Bünyesinde kil ve silt bulunmaması, iyi bir sürtünme özelliğine ve pürüzlü bir yüzeye ve dolayısı ile iyi bir adhezyona sahip olması üstün özellikleridir (Atanur 1983, Bilgen ve ark. 2010).

Sıvı haldeki cürufa belirli miktarda su, buhar ve hava püskürtülerek gözenekli bir yapıya sahip olan geliştirilmiş YFC elde edilebilir.

Bu cürufun, özgül ağırlığı 1100-2200 kg/m<sup>3</sup>'tür. Bu değer, normal agregalara nazaran oldukça düşüktür ( Bilgen ve ark. 2010).

Çelikhane cürufunun içerisinde oldukça yüksek miktarda kireç ve demir bulunmaktadır. YFC'nun rengi oldukça açık, krem renginde iken, çelikhane cürufunun içindeki yüksek miktardaki demir ve magnezyum sebebi ile renk koyu gridir. Cürüfların türlerine göre, yoğunlukları ve fiziksel özellikleri değişiklikler gösterebilir (Bilgen ve ark. 2010)

Cürufun, donma-çözölmeye karşı gösterdiği mukavemet oldukça yüksektir. Ayrıca çelik cürufunun sahip olduğu yüksek soyulma direnci ve yüksek yoğunluğu düşük su emme yüzdesi gibi avantajları, bu cürufun bitümlü karışımlarda kullanılabilirliği açısından önem taşımaktadır ( Bilgen ve ark. 2010).

Cürufun ısı izolasyonu yapabilme özelliğinin yanı sıra işlenme kolaylığı, ateşe ve donma çözülmeye karşı yüksek dayanıklılık özellikleri de bulunmaktadır. Bu avantajlar sayesinde yapı türüne bağlı olarak toplam maliyette %10-15 oranında tasarruf sağlanabilmektedir ( Çevik 1993, Bilgen ve ark. 2010).

### 2.1.3.2.3. Cürufun kullanım alanları

Cüruf demiryolu balastı, beton agregası, çimento sanayi, briket ve tuğla yapımı, prefabrik eleman ve blokların yapımı, asfalt agregası, dolgu malzemesi, demiryolu zemin döşemesi, yalıtım malzemesi üretimi, cam üretimi, yem sanayi, tarım ve çevre uygulamaları gibi geniş bir kullanım alanına sahiptir. Cürufu etkin şekilde kullanan Amerika Birleşik Devletleri ve Kanada'nın cürufu hangi oranlarda nerelerde kullandıkları Şekil 2.3 ve 2.4'de verilmiştir (Erdoğan 1993, Bilgen ve ark. 2010).Cüruflar doğrudan veya elenmiş olarak kullanılabilir.

Genel kullanım alanları:

#### 1-Doğrudan Kullanılan Alanlar

Beton agregası

Hafif beton

Hafif dolgu malzemesi

Yalıtım

#### 2-Öğütülmüş Olarak Kullanılan Alanlar

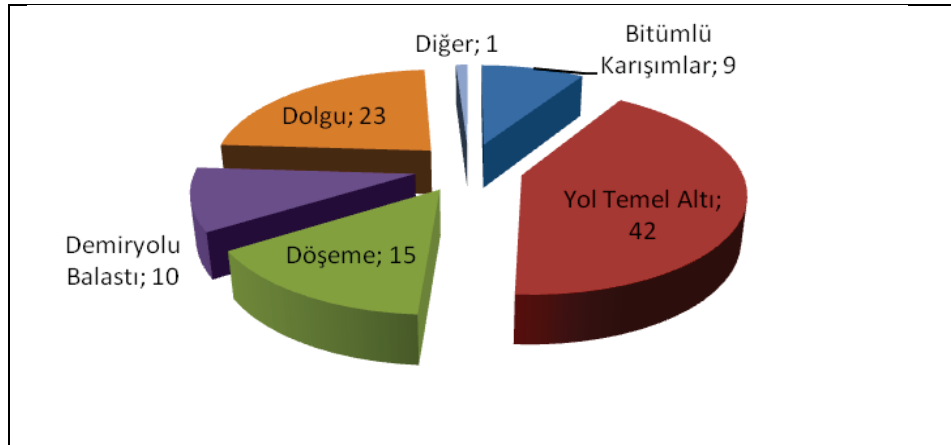
Çimento yapımı

Beton agregası

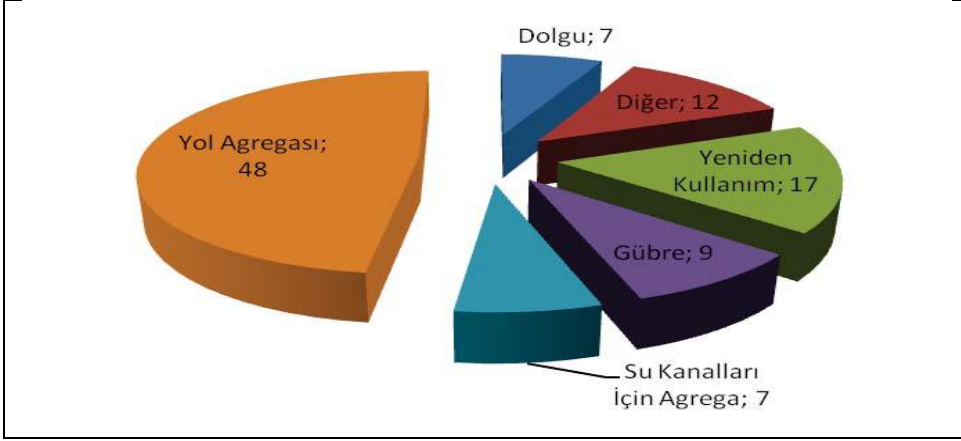
Cam sanayi

Harç enjeksiyonu

Zemin stabilizasyonu



Şekil 2.3. Cürufun kullanım alanları (Amerika Birleşik Devletleri)



Şekil 2.4. Cürufun kullanım alanları (Kanada)

#### 2.1.3.2.4. Yüksek fırın cürufunun betondaki kullanımı

YFC geçirimsizliği, yüksek mukavemeti, ateşe dayanıklılığı, ekstra sertliği, yalıtkanlığı ve hafifliğinden dolayı tercih edilir. Taze betonda işlenebilmeyi artırmakta, terlemeyi azaltmaktadır. Hidratasyon ısısını azaltarak, priz süresini uzatmaktadır. Sertleşmiş betonun su geçirimsizliğini azaltmakta ve sülfata dayanıklılığı artırmaktadır (Beycioğlu ve ark. 2008, Bilgen ve ark. 2010).

Öğütülmüş yüksek fırın cürufu betonda kullanıldığında, çimento hamurunda daha ince ve süreksiz boşluk oluştuğu, agrega- çimento ara yüzündeki boşlukların azaldığı, betonun kalıcılığının yani durabilitesinin arttığı gözlenmiştir (Tokyay 2013).

Yapı ve yapı malzemelerinin işlevlerini uzun yıllar boyu bozulmadan yerine getirebilme özelliği dayanıklılık, kalıcılık veya durabilite olarak isimlendirilir. Dünya da maliyet ve kaynak kullanımının en büyük paya sahip sektörü kuşkusuz inşaatır. Doğal kaynakların verimsiz kullanımı, çevresel ve ekolojik sorunlara yol açmaktadır. Bu durum sektörde sürdürülebilir gelişmenin sağlanmasında kalıcılığın önemini göstermektedir.

Cürufun uygun miktarlarda çimento ikamesi olarak kullanıldığında kütle betonlarında, sıcaklığın kontrol edilmesi için etkili bir araç olduğu gözlenmiştir. Her durumda, cürufu çimentonun ilavesi, ilk zamanlarda çimentonun neden olduğu erken ısı üretimini azaltır. Beton bünyesinde yüksek sıcaklık gelişiminin betonda çatlakların oluşması ve hacimsel kararlılığı üzerinde önemli etkileri vardır (Tokyay 2013).

Sertleşmiş betonda geçirimsizlik ve su emme özelliği, boşluk yapısının bir göstergesidir. Bu nedenle kimyasal ve fiziksel olaylara karşı durabiliteyi etkileyen en önemli özelliklerin başında geçirimsizlik özelliği gelir. Su geçirimsizliği, suyun çözülebilen zararlı

iyonları beton içerisine taşınması ve kimyasal tepkimelerde bizzat yer alması nedeniyle, betonun ömrü boyunca uğrayabileceği hasarın bir göstergesi olarak kabul edilir (Tokyay 2013).

Cüruflar betona genellikle puzolan olarak katılmaktadır. Puzolan olarak beton ya da çimento üretimi esnasında katılarak, beton özelliklerini iyileştirici yönde etki sağlaması amaçlanmaktadır.

Çimentonun YFC ile yüksek oranlarda (%30 ve %40) yer değiştirilmesi mümkün olabilmektedir. Bunun sonucu, özellikle erken dayanımlarda bir miktar düşüşler olmaktadır. Ancak, puzolanik reaksiyonun gelişmesiyle birlikte, 28 günlük dayanımlarda bu farkın kapandığı görülmektedir. Daha uzun sürede ise dayanımlar katkısız beton ile aynı ya da daha yüksek olabilmektedir. YFC içeren betonlar suda ve sülfatta bekletildiğinde, genleşmelerin azaldığı ve standart limitlerinin sağlandığı görülmüştür (Yazıcı 2006, Bilgen ve ark. 2010).

YFC ve uçucu kül katkılı betonların sülfat dayanıklılığının irdelendiği çalışmalarda, en iyi performansı YFC kullanılan betonların gösterdiği ifade edilmiştir (Bilgen ve ark. 2010).

Sülfat dayanıklılığını arttırmak için sülfata dayanıklı çimento ile birlikte uçucu kül, YFC gibi puzolanik katkıları kullanılabilir. Puzolanlar,  $\text{Ca(OH)}_2$ 'i bağlayarak sülfatlarla reaksiyonu önlerler ve sadece Portland Çimentosu kullanımı ile kıyaslandığında bağlayıcı içindeki  $\text{Ca(OH)}_2$  ve  $\text{C}_3\text{A}$  oranının azaltılmasını sağlamaktadır (Bilgen ve ark. 2010).

Bir başka geri dönüştürülmeye çalışılan malzeme olan camın, puzolan olarak içine katıldığı beton üzerine yapılan bir çalışmada, bağlayıcı olarak öğütülmüş atık şişe camları ve endüstriyel yan ürünler içeren harçların özellikleri araştırılmıştır. Bu amaçla, iki farklı renkte camın tek başlarına ve cama ilaveten YFC'nun çimento ile çeşitli oranlarda yer değiştirmesi suretiyle oluşturulan harç numuneleri üretilmiştir. Numunelerin basınç dayanımı, NaCl,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{MgSO}_4$  gibi sülfatlı bileşiklere (tuzlara) ve yüksek sıcaklığa karşı dayanıklılıkları araştırılmıştır. Ayrıca Alkali Silika Reaksiyonu (ASR) yönünden genleşme ölçümleri yapılmıştır. Çimento ile, %10 oranında renksiz cam-YFC yer değiştirmesi ile elde edilen örneklerde, yüksek basınç dayanımları elde edilmiştir. Diğer durabilite deneylerinde ise bütün yer değiştirme oranlarında, sadece çimento ile referans olarak hazırlanmış olan beton örneklerine kıyasla yüksek sonuçlar elde edilmiştir. ASR etkisinde genleşme değerlerinde camın, %30 yer değiştirmeye kadar olumlu sonuç vermiş %50 yer değiştirmede ise standart dan yüksek olmuştur. YFC ise bütün yer değiştirmelerde iyi sonuçlar verirken birlikte kullanım ile %50 yer değiştirmede görülen camın kötü etkisini azaltmıştır. Yüksek sıcaklık

etkisinde bütün yer değiştirme oranları referanstan yüksek sonuç vermiştir (Özkan 2007, Bilgen ve ark. 2010).

Normal ve düşük dayanımlı mineral katkılı betonların sünme ve rötre deformasyonlarını incelenmek amacı ile yapılan bir çalışmada, mineral katkılar olarak silis dumanı, uçucu kül ve öğütölmüş YFC kullanılmıştır. Rötre ve sünme deformasyonlarının deneysel değerlerinin tahmin edilmesi için ise modeller kullanılmıştır. Mineral katkılı ve referans betonlardan elde edilen deneysel sonuçlar karşılaştırıldığında, mineral katkılarının düşük dayanımlı betonların zamana bağlı deformasyonları üzerinde belirgin bir etkisi olmadığı, buna karşın, normal dayanımlı betonlarda sünme ve rötre değerlerinde düşüşe neden olduğu belirlenmektedir (Akperov 2006, Bilgen ve ark. 2010).

## **2.2. Puzolan Katkıların Beton Özelliklerine Etkileri**

Puzolanlar beton içinde çimento ağırlılığının değişik oranlarında kullanılırlar. Bu oran %15'den %40'a kadar değişmektedir (Şimşek 2004, Gündeşli 2008). Puzolanların taze ve sertleşmiş beton özelliklerine etkileri Çizelge 2.8 ve 2.9'da görölmektedir.

Kaliteli puzolanlar optimum ölçülerde kullanıldıklarında betonda:

- İşlenebilirliği iyileştirirler.
- Sülfat etkisine karşı direnci artırırılar (1 kg CaO, 1,07 kg SiO<sub>2</sub> bağlar CaSiO<sub>2</sub>).
- Hidratasyon ısısını düşürürler.
- Alkali – agrega reaksiyonunun zararlı etkisini azaltırılar.
- Isıl büzülmeyi azaltırılar.
- Maliyeti düşürürler.

Puzolanlar fazla kullanıldıkları zaman zararlı da olabilirler:

- Su ihtiyacını artırırılar.
- Donma çözölmeye karşı direnci düşürürler.
- Sertleşme ve dayanım kazanma hızını azaltırılar.
- Kuruma büzülmelerini arttırırılar ( Şimşek 2004).

Çizelge 2.8. Puzolanların taze beton özellikleri üzerine etkileri ( Gündeşli 2008)

↓ Azalır ↑ Artar	→ Hiç/Az Etki ↔ Değişir	UCUCU KÜL	CÜRUF	SİLİKA DUMANI	DOĞAL PUZOLAN
		↓	↓	↑	→
		↑	↑	↓	↑
		↓	↕	↓	→
		↓	↕	↓	→
		↓	↓	↕	↓
		↑	↑	→	→
		↑	↑	↕	↑
		↑	↑	↑	↑
		→	→	↑	→

Çizelge 2.9. Puzolanların sertleşmiş beton özellikleri üzerine etkileri (Gündeşli 2008)

↓ Azalır ↑ Artar	→ Hiç/Az Etki ↔ Değişir	UCUCU KÜL	CÜRUF	SİLİKA DUMANI	DOĞAL PUZOLAN
		↕	↕	↑	↕
		→	→	→	→
		→	→	→	→
		→	→	→	→
		↓	↓	↓	↓
		↓	↓	↓	↓
		↑	↑	↑	↑
		→	→	→	→
		↕	↕	↕	↕

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1 . Materyal

Bu çalışmada, 3 farklı termik santrallerinden çıkan UK ve 2 farklı demir çelik fabrikaları atıkları olan YFC, çimento, agrega, ve bu malzemeler kullanılarak üretilen beton örnekleri araştırma materyalini oluşturmuştur.

##### 3.1.1. Uçucu kül

Araştırma materyalini oluşturan uçucu kül, Çatalağzı, Çayırhan, Tunçbilek yörelerinden alınmıştır. Uçucu küllerin kompozisyonları ve fiziksel özellikleri termik santralde yakılan kömürün karakteristiklerine ve kompozisyonuna, yakma sıcaklığına ve toplama yöntemine bağlı olarak değişmektedir (Tokyay 2013). Araştırmada kullanılan uçucu küllerin kimyasal kompozisyonu ve ilgili standartları Çizelge 3.1’ de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Deneylede kullanılan UK’lerin kimyasal kompozisyonları ve TS-ASTM standartları

Bileşim sınırları (%)	Çatalağzı	Çayırhan	Tunçbilek	TS 639 sınırları	Analiz standardı	ASTM C 618 sınırları	
						F	C
SiO <sub>2</sub>	60,2	51,21	58,82	-	EN 450	-	-
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,7	9,75	10,67	-	EN 450	-	-
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	21,8	12,40	19,65	-	EN 450	-	-
CaO	2,5	9,45	2,42	-	EN 450	-	-
MgO	1,6	5,34	3,92	<5	EN 450	<5	<5
SO <sub>3</sub>	0,5	2,75	0,54	<5	EN 450	<5	<5
K <sub>2</sub> O	4,9	2,49	1,9	-	EN 450	-	-
S+A+F	87,7	72,42	89,79	>70	EN 450	>70	<50
Na <sub>2</sub> O	0,5	2,68	0,24	-	EN 450	<1,5	<1,5
Cl <sup>-</sup>	0,006	0,0053	0,0035	-	EN 450	-	-
Kızdırma kaybı	0,3	0,41	0,84	<10	EN 450	<12	<6

Çizelge 3.1’de görüldüğü gibi, EN 450 ve ASTM C 618 standartları F tipi için S+A+F’in minimum değerini %70 ile sınırlandırmaktadır. C tipi uçucu kül için ise ASTM C 618’de S+A+F miktarı %50 ile sınırlıdır. ASTM C 618 standardına göre Uçucu külleri S+A+F içerikleri ve elde edildikleri kömürlerin cinslerine göre sınıflandırır (Tokyay 2013). Deneylede kullanılan UK’lerin fiziksel özellikleri Çizelge 3. 2’de verilmiştir.



Çizelge 3. 2. Deneyleerde kullanılan UK'lerin fiziksel özellikleri

Özellik	Uçucu kül		
	Çatalağzı	Çayırhan	Tunçbilek
Blaine özgül yüzey, cm <sup>2</sup> /g	2340	2754	2812
Özgül ağırlık g/cm <sup>3</sup>	2,51	2,42	2,24
45' (µm) luk elek üzerinde kalan, %	23,0	25,8	27,1
7 günlük aktivite	-	-	60,7
28 günlük aktivite	78,8	76,4	77,1
Çap (µm)	1-200	1-200	1-200
Renk	gri	gri	gri
Şekil	yuvarlak	yuvarlak	yuvarlak
Serbest kireç ( %)	-	0,74	-
Litre ağırlığı (g/lt)	-	1,06	-

Baca gazlarıyla taşınan uçucu küllerin, hızlı soğuma sonucunda büyük bir kısmı (%50-85) amorf yapıdadır. Termik santrallerdeki yakma sıcaklığı 1000-1400°C arasındadır. Bu aralıklarda yakılan kömürlerden elde edilen uçucu küllerin mineral fazları, gerek tür gerekse miktar açısından farklılıklar gösterir. Kullanılan uçucu küllerin, renkleri gri ve tane boyutlarının yaklaşık %70'i 45 µm'nin altındadır.

### 3.1.2. Yüksek fırın cürufu

Puzolan olarak Ereğli Demir Çelik Fabrikasından elde edilen YFC ve Karabük Karçimsa Çimento Sanayi ve Ticaret A.Ş. tesislerinden sağlanmıştır. Karışımlarda kullanılan çimento ve YFC'na ait analiz sonuçları Çizelge 3.3 ve 3.4' de verilmiştir.

YFC'nun özellikleri yüksek fırında kullanılan demir filizinin, kalkerin ve kokun özellikleri ve miktarlarına bağlı olarak çok geniş bir çeşitlilik gösterebilir. Bu araştırmada kullanılan Oyak cüruf ve Karçimsa cürufun fiziksel özellikleri birbirine yakın değerler taşımaktadır.

Ancak özgül ağırlıklarına bakıldığı zaman, uçucu küllerden daha yüksek olduğu görülmektedir. Tane boyutları ise, uçucu küllere nazaran daha büyüktür. Bu çalışmada kullanılan, cürufun yaklaşık %75'i 90 µm'nin altındadır (Çizelge 3.4).

Çizelge 3.3. Çimento ve YFC' na ait kimyasal özellikler.

Kimyasal Özellikler	Çimento –CEM I 42,5 R	Oyak curuf	Karçimsa curuf
SiO <sub>2</sub> (S)	20,52	42,09	40,16
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,33	13,61	10,52
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,78	0,96	2,31
CaO (C)	64,77	34,66	32,26
MgO (M)	1,26	5,83	9,01
SO <sub>3</sub>	2,30	0,20	-
Cl	0,0078	0,018	-
Na <sub>2</sub> O	0,23	0,66	-
K <sub>2</sub> O	0,54	0,84	1,15
Kızdırma kaybı	1,50	-	1,19
Serbest kireç	1,19	-	-
Çözünmeyen	0,55	1,45	0,88
(C+M)/S	-	0,96	-
Ana bileşenler			
C <sub>3</sub> S	61,83	-	-
C <sub>2</sub> S	12,19	-	-
C <sub>3</sub> A	5,08	-	-
C <sub>4</sub> AF	11,50	-	-

Yüksek fırın cürüfları ani soğutulmuş sıvı silikat gibi tanımlanabilir. Camsı silikanın bazı Si-O-Si bağları kopmuş, bazı Si<sub>4</sub><sup>+</sup> iyonlarının yerini Al<sub>3</sub><sup>+</sup> almıştır. Bu durumda nötr elektriksel yük eksi hale dönüştüğünden yeniden nötr yapıyı sağlayabilmek araya giren Ca<sub>2</sub><sup>+</sup>, Mg<sub>2</sub><sup>+</sup> katyonlarıyla mümkün olmaktadır (Tokyay 2013).

Çizelge 3.4. Yüksek Fırın Cürufu Fiziksel Özellikler

Fiziksel özellik	Granüle yüksek fırın curufu	
	Oyak curuf	Karçimsa
Blaine inceliği, cm <sup>2</sup> /g	1160	1240
Özgül ağırlık, g/cm <sup>3</sup>	2,88	2,75
Kıvam (su/çimento, (%))	-	-
90 µm elek bakiye, (%)	23,4	24,1
45 µm elek bakiye,( %)	60,8	61,2

### 3.1.3. Çimento

Bağlayıcı olarak Nuh Çimento Fabrikasının üretmiş olduğu CEM I 42,5 R Portland çimentosu kullanılmıştır. Çimentonun özellikleri Çizelge 3.5'de verilmiştir.

Çizelge 3.5. Çimentoya ait mekanik özellikler.

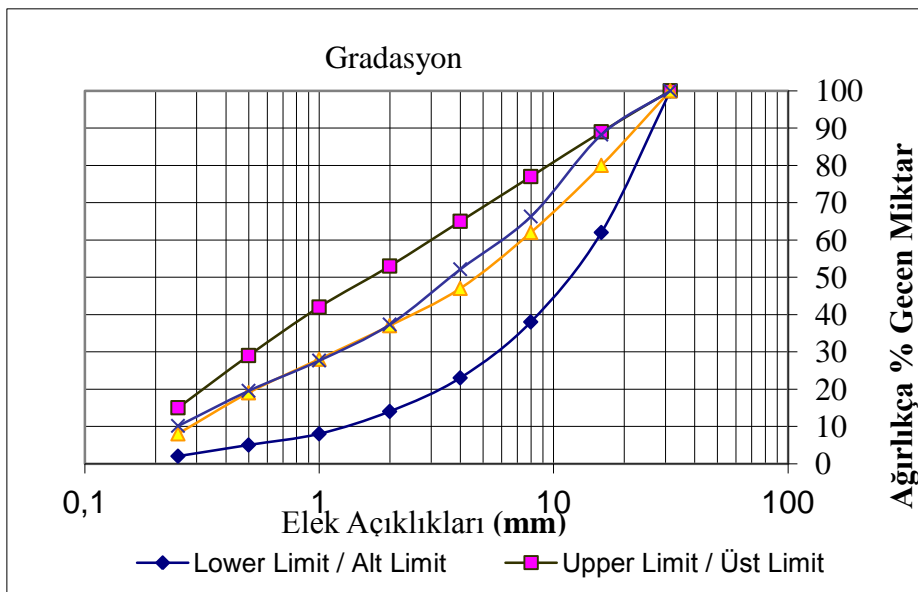
Özellik		CEM I 42,5 R
Blaine inceliği cm <sup>2</sup> /gr		3444
Özgül ağırlık gr/cm <sup>3</sup>		3,16
Kıvam (su/çimento,%)		27,1
90 µm elek bakiye,%		0,3
45 µm elek bakiye,%		12,7
Priz süresi dakika	Başlangıç	185
	Bitiş	236
Basınç dayanımı (mpa)	2 gün	26,4
	7 gün	44,8
	28 gün	60,5

### 3.1.4. Beton karışım suyu

Kullanılan su istanbul bölgesi şebeke suyudur.

### 3.1.5. Agregas

Kullanılan agregas İstanbul bölgesinde kullanılan beton agregasıdır. Yapılan karışımlarda kırma kum, dere kumu,1 no'lu ve 2 no'lu kırmataş agregas kullanılmıştır. Agreganın gronülometrisi Şekil 3.1'de gösterilmiştir. Elek analizi sonuçları ise Çizelge 3.6'da gösterilmiştir. En büyük tane boyutu 31,5 mm dir.



Şekil 3.1. Agregas granülometri eğrisi

Karışımda gradasyonunda %12'lik kısım, 16 mm nin üstünde kalmıştır. Bu nedenle maksimum tane boyutu 31,5 mm seçilmiştir. Agrega ile ilgili deneyler TS EN 1097 standartlarına uygun olarak yapılmıştır.

Çizelge 3.6. Agrega elek analizi sonuçları ve fiziksel özellikleri

Agrega Tipi	Elekler (mm)								Özgül Ağırlık	Su Emme
	31,5	16,0	8,0	4,0	2,0	1,0	0,5	0,25		
Kırma Kum(0,3)	100	100	100	97	92	83	63	27	2,68	1,4
Kırma Kum	100	100	100	96	55	30	19	14	2,67	1,6
Kırmataş No:1	100	100	70	10	3	2	0	0	2,71	0,3
Kırmataş No:2	100	58	1	0	0	0	0	0	2,71	0,3
Karışım Gradasyonu	<b>100</b>	<b>88</b>	<b>66</b>	<b>52</b>	<b>37</b>	<b>28</b>	<b>20</b>	<b>10</b>		

### 3.1.6. Beton katkısı

Kullanılan katkı AYDOSPER NY 300 süper akışkanlaştırıcıdır. Tüm karışımlarda sabit oran kullanılmıştır. Burada amaç az su kullanarak istenen dayanım elde etmektir. Kullanılan katkının özellikleri Çizelge 3.7' de verilmiştir.

Çizelge 3.7. Beton katkısı özellikleri

Özellik	Test Metodu	Test Sonucu	Kabul Kriteri
Homojenlik	Görsel	Homojen	Homojen
Renk	Görsel	Koyu kahverengi sıvı	Koyu kahverengi sıvı
Bağıl Yoğunluk 20°C (kg/l)	ISO 758	1,178	1,18 ± 0,02
Ph 20°C (%10'luk çözelti)	TS EN 1262	8,46	8,0 ± 1
Katı Madde %	TS EN 480-8	33,82	34,00 ± 1
Etkin Bileşen	TS EN 480-6	Uygun	-
Suda Çözülen Klorür %	TS EN 480-10	0,027	Max. % 0,1
Alkali Miktarı %	TS EN 480-12	1,36	Max. % 6,0
Korozyon Davranışı	TS EN 480-14	Korozyon Etkisi Yoktur	Korozyon Etkisi Yoktur

### 3.2. Yöntem

Bu çalışmada tüm denemeler için karışım dizaynı yapıldıktan sonra, karışıma giren malzemeler uygun oranda tek tek hazırlanmış ve üretime geçilmiştir. Burada özellikle agreganın rutubet durumu çok önemlidir. Çünkü karışım hesapları agreganın doygun kuru yüzey rutubet durumuna göre yapılır ve buna göre 1 m<sup>3</sup> için gerekli malzeme ve buna bağlı olarak su miktarı bulunur. Ancak uygulamada hiçbir zaman agrega rutubeti istenilen durumda olmaz. Sıcak havalarda agrega nemi nerdeyse hiç olmaz tamamen kuru olur. Soğuk ve yağışlı havalarda çok nemli olabilir. Tüm bu durumlar göz önünde tutulmalıdır.

Dolayısı ile karışımda kullanılacak agreganın rutubet durumuna göre su düzeltmesi yapılmalıdır. Eğer düzeltme yapılmaz ve dizayn malzemenin mevcut durumuna göre yapılırsa betonun işlenebilirliği dayanımı ve dayanıklılığı olumsuz yönde etkilenir.

Betonda kullanılacak S/Ç, genellikle dayanım esas alınarak seçilir. S/Ç oranı,28 günlük küp basınç dayanımı dikkate alındığında normal betonlarda 0,55 olarak uygulanmalıdır. Dayanıklılık koşulları ön plana çıktığı durumlarda ise, yapı tipine ve dış etkilere bağlı olarak S/Ç, genellikle (sıcak, soğuk, donma ve deniz suyu gibi) 0,50-0,55 arasında alınabilir (Özkul ve ark. 2004). Bu çalışmada normal beton üretimi yapıldığından dolayı S/Ç, oranı 0,55 olarak uygulanmıştır.

Sıkıştırılmış 1 m<sup>3</sup> betonda bulunacak karışım elemanlarının miktarı aşağıdaki eşitlikle bulunmuştur.

Eşitlik 1:

$$\frac{C}{\gamma_c} + \frac{W_a}{\gamma_a} + W + \gamma = 1000 \text{ dm}^3 \quad (1)$$

Burada;

C = Karışıma girecek çimentonun miktarı ( kg )

$\gamma_c$  = Çimentonun özgül ağırlığı ( kg / dm<sup>3</sup> )

W = Karışıma girecek suyun hacmi (dm<sup>3</sup> )

W<sub>a</sub> = Karışıma girecek agreganın miktarı ( kg )

$\gamma_a$  = Agreganın özgül ağırlığı ( kg / dm<sup>3</sup> )

$\lambda$  = Betondaki toplam hava miktarı (dm<sup>3</sup> )

Eşitlik 2:

$$C = \frac{W}{\frac{W}{C}} \quad (2)$$

Bağlantısı ile çimento miktarı hesaplanır

Eşitlik 3:

$$\frac{Wc}{\gamma} = 1000 - \left( \frac{C}{\gamma c} + W + \lambda \right) \quad (3)$$

Bağlantısı ile agrega miktarı bulunur.

Bulunan değerler eşitlikte yerine konunca suyun hacmi hesaplanır.

Eşitlik 4 ve 5:

( $V_{\text{kum}}$ =kum hacmi ,  $V_{\text{agr}}$ =agrega hacmi ,  $V_{\text{çakıl}}$ =çakıl hacmi )

$$V_{\text{kum}} = 0,4 \times V_{\text{agr}} \quad (4)$$

$$V_{\text{çakıl}} = 0,6 \times V_{\text{agr}} \quad (5)$$

Formülüyle de agrega miktarı içindeki kaba (çakıl) ve ince agrega (kum) miktarları bulunmuştur (Alkaya 2010).

Puzolan katkılı beton üretimlerinde genellikle %15-20 oranında, UK kullanılması tavsiye edilmektedir. YFC ile yapılan çalışmalarda ise, %10-40 arasında oranlar kullanılsa da genellikle %25'in altında yfc kullanımı tavsiye edilmektedir. Bu oranların üzerinde yapılan çalışmalarda betonun bazı fiziksel ve mekanik özelliklerinde olumsuz etkiler gözlemlenmiştir (Tokyay 2013).

Üretim yapılan numunelerde UK, mineral katkı oranı  $60 \text{ kg/m}^3$  olarak uygulanmıştır. YFC kullanılmış numunelerde ise  $70 \text{ kg/m}^3$  olarak uygulanmıştır. Tüm denemelerde kimyasal katkı süper akışkanlaştırıcı kullanılmış ve oran %1,3 olarak sabit tutulmuştur. Burada amaç farklı puzolanların betondaki etkilerini araştırmak olduğu için, katkının oranı aynı kullanılmıştır.

### 3.2.1. Karışımlar

Deneyisel çalışmada, 3 farklı fabrikadan alınan UK ve 2 farklı fabrikadan alınan YFC sırasıyla %19 ve %22 oranlarında çimento ile yer değiştirmeli olarak kullanılmıştır. Şahit dahil olmak üzere 6 seri numune (2 seri cüruf, 3 seri kül ve 1 seri şahit beton) üretilmiştir. Toplamda üç tekerrürlü olmak üzere 90 adet standart  $15 \times 15 \times 15 \text{ cm}^3$  numuneler dökülmüştür.

Beton karışım hesaplarında hedef dayanım olarak C 30 betonu dikkate alınmıştır. Karışım hesaplarında yağurma suyu ve hava miktarları TS 802’de belirtilen değerlere göre belirlenmiştir.

Her seri numune kendi içinde laboratuvar ölçeğine çevrilerek üretim yapılmıştır. Ayrıca agrega rutubet durumları göz önünde bulundurularak su düzeltilmesi yapılmıştır. Hazırlanan miktarlar yatay eksenli mikserlerde karıştırılarak kalıplara standartlara uygun doldurulmuş ve vibrasyon masası kullanılarak yerleştirilmiştir. Bu işlemler sırasında TS EN 12350 ve TS EN 12390-2 standartlarındaki kurallar uygulanmıştır.

İkame puzolan katkılı betonlarda oranlar standartlara uygun belirlenmiştir. Bu konuyla ilgili yapılan çalışmalarda genellikle, tek bir puzolan tipi seçilmiş ve miktar olarak azdan başlayıp çoğaltarak karışımlarda kullanılmıştır. Ancak bu çalışmada birden fazla kül ve cüruf seçildiğinden, aynı cins puzolan katkıların miktarı kendi aralarında eşit kullanılmış ve bu duruma göre beton içindeki davranışları karşılaştırmalı olarak ölçülmeye çalışılmıştır. Standartlara göre puzolan katkıları çimentonun %40’na kadar katılabilmekte iken, bu çalışmada değişik bölgelerden gelen atıkların beton içerisine katılma oranları kül’de %19 ve yüksek fırın cürufunda ise %22 olarak alınmış ve karışımlarda bu oranlar kullanılmıştır. Bu oranlar ortalama değerler olduğu için seçilmiştir.

Dökülen numuneler üzerinde taze beton deneyleri uygulanmış ve standart süre içerisinde çıkarılarak kür tanklarına yerleştirilmiştir. Tüm numuneler aynı laboratuvar ortamında dökülmüş ve aynı şartlarda muhafaza edilmiştir. Laboratuvar ortamı ortalama 20-22°C’de sabit tutulmuş, doksan gün boyunca bu sıcaklık kontrol edilmiştir. Yine numuneler çıkarıldıktan sonra su dolu kür tanklarına yerleştirilmiş ve burada da ortalama 20°C de muhafaza edilerek sırasıyla bazı denemeler yapılmıştır.

Ayrıca her denemenin 1 m<sup>3</sup> maliyet analizi de yapılmıştır. Şekil 3.2’de numunelerin hazırlanması görülmektedir.

Bu çalışmada deney numuneleri şu şekilde kodlandırılmıştır.

A : C30 şahit (referans) beton	B <sub>1</sub> : C30 Tunçbilek kül katkılı beton
B <sub>2</sub> : C30 Çatalağzı kül katkılı beton	B <sub>3</sub> : C30 Çayırhan kül katkılı beton
C <sub>1</sub> : C30 Oyak cüruf katkılı beton	C <sub>2</sub> : 30 Karçimsa cüruf katkılı beton



Şekil 3.2. Laboratuvar deneme betonları



Çizelge 3.8. Deneyleerde kullanılan malzeme içerikleri (1 m<sup>3</sup>)

	A	C 30/37	B1	C 30/37	B2	C 30/37	B3	C 30/37	C1	C 30/37	C2	C 30/37
Malzemeler	KÖKEN	KARIŞIM	KÖKEN	KARIŞIM	KÖKEN	KARIŞIM	KÖKEN	KARIŞIM	KÖKEN	KARIŞIM	KÖKEN	KARIŞIM
Çimento Miktarı (kg)	NUH CEM I 42.5 R	320	NUH CEM I 42.5 R	260	NUH CEM I 42.5 R	260	NUH CEM I 42.5 R	260	NUH CEM I 42.5 R	250	NUH CEM I 42.5 R	250
Su Miktarı (kg)		176		182,4		182,4		182,4		182,4		182,4
Kum	D.KUM	22	D.KUM	22	D.KUM	22	D.KUM	22	D.KUM	22	D.KUM	22
Kırma Kum	KIRMA	30	KIRMA	30	KIRMA	30	KIRMA	30	KIRMA	30	KIRMA	30
Kırmataş No:1	KIRMA	20	KIRMA	20	KIRMA	20	KIRMA	20	KIRMA	20	KIRMA	20
Kırmataş No:2	KIRMA	28	KIRMA	28	KIRMA	28	KIRMA	28	KIRMA	28	KIRMA	28
Toplam Agrega (%)		100		100		100		100		100		100
Mineral Katkı (kg)		0	TUNÇBİLEK	60	ÇATALAĞZI	60	ÇAYIRHAN	60	OYAK ÇURUF	70	KARÇİMSA C.	70
Toplam Hava Mik. (%)		2,0		2,0		2,0		2,0		2,0		2,0
Dmax (mm)		31,5		31,5		31,5		31,5		31,5		31,5
Kimyasal Kat. 1 (%)	AYDOSPER NY 300	1,30	AYDOSPER NY 300	1,30	AYDOSPER NY 300	1,30	AYDOSPER NY 300	1,30	AYDOSPER NY 300	1,30	AYDOSPER NY 300	1,30

Çizelge 3.9. A (şahit) numunesi su düzeltmesi yapılmış karışım hesabı

Deneme Karışım Miktarları (dm <sup>3</sup> )	<b>1000</b>	Laboratuvar Denemesi İçindeki Malzeme Miktarları				
Malzemeler <b>A Numunesi</b>	Miktar 1 m <sup>3</sup> (kg)	Miktar	Agrega Nemi (%)	Su Emme Kapasitesi (%)	Düzeltilme değerleri (kg)	Düzeltilmiş Değerler (kg)
		<b>1000</b>				
		dm <sup>3</sup>				
Çimento	320	320,000				320,000
Mineral Katkı	0	0,000				0,000
Su	176	176,000			7,145	168,855
Kırma Kum(0,3)	411	411,080	<b>3,8</b>	<b>1,40</b>	2,40	420,946
Kırma Kum	558	558,472	<b>1,6</b>	<b>1,60</b>	0,00	558,472
Kırmataş No:1	378	377,893	<b>0,0</b>	<b>0,30</b>	-0,30	376,759
Kırmataş No:2	529	529,050	<b>0,0</b>	<b>0,30</b>	-0,30	527,462
Kimyasal Katkı 1	4,16	4,160				4,160
		<b>2376,654</b>				<b>2376,654</b>

Çizelge 3.10. B<sub>1</sub>-B<sub>2</sub>-B<sub>3</sub> numunesi su düzeltmesi yapılmış karışım hesabı

Deneme Karışım Miktarları (dm <sup>3</sup> )	<b>1000</b>	Laboratuvar Denemesi İçindeki Malzeme Miktarları				
Malzemeler <b>B1-B2-B3 Numuneleri</b>	Miktar 1 m <sup>3</sup> (kg)	Miktar	Agrega Nemi (%)	Su Emme Kapasitesi (%)	Düzeltilme değerleri (kg)	Düzeltilmiş Değerler (kg)
		<b>1000</b> dm <sup>3</sup>				
Çimento	260	260,000				260,000
Mineral Katkı	60	60,000				60,000
Su	182	182,400			6,998	175,402
Kırma Kum(0,3)	403	402,638	<b>3,8</b>	<b>1,40</b>	2,40	412,302
Kırma Kum	547	547,004	<b>1,6</b>	<b>1,60</b>	0,00	547,004
Kırmataş No:1	370	370,132	<b>0,0</b>	<b>0,30</b>	-0,30	369,022
Kırmataş No:2	518	518,185	<b>0,0</b>	<b>0,30</b>	-0,30	516,631
Kimyasal Katkı 1	4,16	4,160				4,160
		<b>2344,519</b>				<b>2344,519</b>

Çizelge 3.11. C<sub>1</sub>-C<sub>2</sub> numunesi su düzeltmesi yapılmış karışım hesabı

Deneme Karışım Miktarları (dm <sup>3</sup> )	<b>1000</b>	Laboratuvar Denemesi İçindeki Malzeme Miktarları				
Malzemeler <b>C1-C2 Numuneleri</b>	Miktar 1 m <sup>3</sup> (kg)	Miktar	Agrega Nemi (%)	Su Emme Kapasitesi (%)	Düzeltilme değerleri (kg)	Düzeltilmiş Değerler (kg)
		<b>1000</b> dm <sup>3</sup>				
Çimento	250	250,000				250,000
Mineral Katkı	70	70,000				70,000
Su	182	182,400			7,072	175,328
Kırma Kum(0,3)	407	406,863	<b>3,8</b>	<b>1,40</b>	2,40	416,628
Kırma Kum	553	552,743	<b>1,6</b>	<b>1,60</b>	0,00	552,743
Kırmataş No:1	374	374,016	<b>0,0</b>	<b>0,30</b>	-0,30	372,894
Kırmataş No:2	524	523,622	<b>0,0</b>	<b>0,30</b>	-0,30	522,051
Kimyasal Katkı 1	4,16	4,160				4,160
		<b>2363,803</b>				<b>2363,803</b>

### 3.2.2. Numuneler üzerinde yapılan deneyler

Üretilen beton örnekleri üzerinde taze beton özellikleri olarak slump, hava miktarı, birim ağırlık, priz başlangıç ve bitiş süreleri, sertleşmiş beton özellikleri olarak ta basınç dayanımı, birim ağırlık, su emme miktarları ilgili standartlarda verilen yöntemler kullanılarak belirlenmiştir.

Bu çalışmada C 30 sınıfı betonların üretilmesi hedeflenmiştir. S/Ç, oranı üretilecek betonların 28 günlük basınç dayanımı göz önüne alınarak seçilmiştir. Ön deneyler sonucunda S/Ç oranının 0,55 olmasına karar verilmiştir. TS 802'de belirtilen karışım suyu ve hava miktarları alınmıştır. Çizelge 3.12. Karışım oranları verilmiştir.

Referans değerleri elde edebilmek için de (A numunesi) kül içermeyen normal beton üretilmiştir. Üretilen beton serilerinde beton işlenebilirliği slump deneyleri (TS EN 12350-2) ile belirlenmiştir. Hazırlanan her bir karışım için penetrasyon direnci yöntemiyle beton priz süresi tayini deneyi ile betonun 0,5 MPa, 1 MPa ve 3 MPa'lık direnç gösterdiği süreler hesaplanmıştır.

Karışımlar taze haldeyken beton sıcaklıkları termometre ile ölçülerek gerekli kayıtlar tutulmuştur. Bunun yanı sıra numunelerin kür tankına gireceği süreç içerisinde (16-72 saat) kalıplardaki rötre süreleri de izlenmiştir.

Taze haldeki karışımların hava miktarı basınçlı kap tekniği ile standartlara (TS EN 12350-7) uygun yapılmıştır ve her denemenin hava miktarı ayrı ayrı kaydedilmiştir.

Taze haldeki karışımların birim hacim ağırlıkları da (TS EN 12350-6) standardına uygun yapılmıştır. Beton numune, hacmi bilinen bir kaba doldurulur. Kabın içerisindeki beton kabın hacmine oranlanarak betonun birim ağırlığı hesaplanmıştır.

Çizelge 3.12. Karışım oranları

<b>Karışım oranları</b>	<b>A</b>	<b>B<sub>1</sub>-B<sub>2</sub>-B<sub>3</sub></b>	<b>C<sub>1</sub>-C<sub>2</sub></b>
S/Ç Oranı (Bağlayıcı)	0,53	0,55	0,55
Ç/S Oranı (Bağlayıcı)	1,82	1,75	1,75
Toplam Agregası Hacmi (L)	697	683	690
Toplam Agregası Ağırlığı (kg)	1876	1838	1857
Çimento/Agregası Oranı (%)	17,1	14,1	13,5

Sertleşmiş betonun birim ağırlığı numunelerin hacimleri su ile yer değiştirme metodu uygulanarak TS EN 12390-7'ye uygun olarak aşağıdaki formüldeki gibi hesaplanmıştır.

$$p = \frac{M_h - M_{su}}{V} \gamma_s$$

Burada, V numunenin hacmi (m<sup>3</sup>), M hava, numunenin havadaki kütlesi (kg), M<sub>su</sub>, numunenin su içerisindeki görünür kütlesi (kg) ve  $\gamma_s$ , suyun 20 °C sıcaklıktaki yoğunluğudur.

Hazırlanan numuneler sırasıyla 3, 7, 28, 60 ve 90 gün tek eksenli basınç deneyine tabi tutulmuştur. Deneyler TE EN 12390-3 standardına uygun yapılmıştır. Basınç dayanımlarının belirlenmesinde 28 gün bekletilmiş olan küp örnekler, 200 ton kapasiteli bilgisayar kontrollü hidrolik beton presi kullanılarak dakikada 120 – 140 kg / cm<sup>2</sup>'lik yükleme hızı uygulanarak kırılmıştır. Kırılma yükü örnek yüzey alanına bölünerek basınç dayanımları saptanmıştır

Hazırlanan kül ve yüksek fırın cüruf ikameli betonların su emme miktarlarındaki değişimi belirlemek amacıyla TS 3624 standardına uygun olarak deneyler gerçekleştirilmiştir.

### 3.2.3.Maliyet analizi

Maliyet analizi yapılırken karışıma giren ana maddelerin birim fiyatları (İstanbul bölgesine göre) tespit edilmiş ve her karışımda ne kadar o malzemeden kullanılmış ise miktarı ile çarpılarak bir sonuç elde edilmiştir. Çizelge 3.13'de birim fiyatlar verilmiştir.

Burada maliyeti etkileyen birinci madde çimentodur. Ancak onun yerine bir kısmı için kullanılacak puzolanların beton üretim yerine olan mesafesi taşıma maliyetlerini artırabilir. Bu da beton maliyetlerini artırabilir.

Çizelge 3.13. Maliyet analizi için İstanbul birim fiyatları

Çimento TL/ton	Su TL/ton	D.kum TL/ton	K.kum TL/ton	1nolu agrega TL/ton	2 nolu agrega TL/ton	Kimyasal katkı TL/ton
120	7.73	18	11	11	11	0.75
	<b>A</b> Şahit b.	<b>B<sub>1</sub></b> Tunçbilek TL/ton	<b>B<sub>2</sub></b> Çatalağzı TL/ton	<b>B<sub>3</sub></b> Çayırhan TL/ton	<b>C<sub>1</sub></b> Oyak TL/ton	<b>C<sub>2</sub></b> Karabük TL/ton
<b>M.katkı</b>	-	38	37.50	36	92	95

## 4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

### 4.1. Taze Beton Özellikleri

Betonda işlenebilirlik karışımın segregasyona uğramadan taşınması, dökülmesi, sıkıştırılması ve sonlanması olarak ifade edilebilir. Bunu sağlamak için karışımdan işçiliğe kadar birçok konuya dikkat etmek gerekir. Ancak en önemlisi uygun su oranını başlangıçta iyi tayin etmektir. Karışımlarda bir başka önemli faktörde S/Ç oranıdır. Standartlar da 1 kısım suya 2 kısım çimento olarak ifade edilir. Çimento miktarının artmasıyla su da artar. Karışıma giren ince madde miktarının artması da suyu artırabilir (Dal ve ark. 2013).

Bütün bunların yanı sıra fazla suyun ve ya az suyun beton mukavemetini olumsuz yönde etkilediği iyi bilinmektedir. Çizelge 4.1’de su düzeltmesi yapılmış A, B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>3</sub>, C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub> numunelerinin karışım oranları verilmiştir.

Referans beton (A) numunesi karışımına bakıldığı zaman en az su miktarı kullanıldığı ( $168 \text{ kg/m}^3$ ) görülmektedir. Burada diğer karışımlarda mineral katkı kullanılmasından dolayı su miktarının arttığı görülmektedir. Çizelge 4.2’de taze betonların özellikleri verilmiştir.

Numunelerin slumplarına bakıldığında başlangıç çökme değerleri birbirlerine yakın görülmektedir. En yüksek çökme değeri B<sub>3</sub> (Çayırhan uçucu kül) denemesinde meydana (20 cm) gelmiştir. Buna karşılık T<sub>30</sub> süresinde yapılan çökme deneylerinde en az çökme referans betonda meydana gelmiştir. Bu durum diğer denemelerde ince madde miktarının çok olması ve buna karşın çökmenin daha yüksek olması ile açıklanabilir. Ya da katılan mineral katkıların beton özelliklerini etkilemesi ile ifade edilebilir.

Taze betonun birim ağırlıklarına bakıldığı zaman hemen hemen birbirine yakın değerler görülmektedir. En yüksek değer C<sub>2</sub> denemesinde (Karabük cüruf)  $2375 \text{ kg/m}^3$  görülmektedir. Yine C<sub>1</sub> (Oyak cüruf) numunesinde de diğer denemelere göre yüksek sonuç çıkmıştır. Bu değerler cürufun özgül ağırlığının yüksek olmasından kaynaklanabilir.

Hava miktarlarına bakıldığı zaman referans betonla diğer denemeler arasında fark olduğu görülmektedir. En az hava miktarı A numunesinde meydana geldiği görülmektedir. Uçucu kül kullanılmış numunelerde hava miktarının arttığı gözlemlenmiştir. Çizelge 4.2’ye bakıldığı zaman A %1,8, B<sub>1</sub> %2,1, B<sub>2</sub> %2,3, B<sub>3</sub> %2,4 C<sub>1</sub> %2,0 ve C<sub>2</sub> %2,1 olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 4.1.Su Düzeltmesi Yapılmış Karışım Hesabı

Lab. Beton Deneme No		A	B1	B2	B3	C1	C2
Katkı Firması		AYDOS	AYDOS	AYDOS			
S/Ç Oranı		<b>0,55</b>	<b>0,55</b>	<b>0,55</b>	<b>0,55</b>	<b>0,55</b>	<b>0,55</b>
Çimento Tipi	<b>Kaynağı</b>	NUH CEM I 42,5 R	NUH CEM I 42,5 R	NUH CEM I 42,5 R	NUH CEM I 42,5 R	NUH CEM I 42,5 R	NUH CEM I 42,5 R
Çimento Miktarı	kg/m <sup>3</sup>	320	260	260	260	250	250
Mineral Katkı Tipi	<b>Kaynağı</b>	-	<b>TUNÇBİLEK</b>	<b>ÇATALAĞZI</b>	<b>ÇAYIRHAN</b>	<b>OYAK CÜRUF</b>	<b>KARABUK CÜRUF</b>
Mineral Katkı Miktarı	kg/m <sup>3</sup>	0	60	60	60	70	70
Su	kg/m <sup>3</sup>	168	175	175	175	175	175
0-3 Kum	kg/m <sup>3</sup>	421	412	412	412	417	417
0-5 Kum	kg/m <sup>3</sup>	559	547	547	547	533	553
Mıcır No : 1	kg/m <sup>3</sup>	376	369	369	369	373	373
Mıcır No : 2	kg/m <sup>3</sup>	528	517	517	517	522	522
Teorik Birim Ağırlık	kg/m <sup>3</sup>	<b>2376</b>	<b>2344</b>	<b>2344</b>	<b>2344</b>	<b>2344</b>	<b>2364</b>
Kimyasal Katkı 1	kg/m <sup>3</sup>	4,160	4,160	4,160	4,160	4,160	4,160

Çizelge 4.2.Taze beton özellikleri

Lab. Beton Deneme No		A	B1	B2	B3	C1	C2
Kimyasal Katkı İsmi-1		NY 300	NY 300	NY 300	NY 300	NY 300	NY 300
Beton Sınıfı	Birim	C 30/37	C 30/37	C 30/37	C 30/37	C 30/37	C 30/37
Slump T 0	cm	18,0	18,0	18,0	20,0	19,0	19,0
Slump T 30	cm	15,0	17,0	18,0	18,0	18,0	18,0
Taze Beton Birim Ağırlığı	kg/m <sup>3</sup>	2359	2358	2360	2355	2361	2375
Taze Beton Hava İçeriği	%	1,8	2,1	2,3	2,4	2,0	2,1
Taze Beton Sıcaklığı	°C	20,5	1,9	19,1	19,5	19,1	19,0
Ortam Sıcaklığı	°C	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5



Uçucu kül kullanılmış numunelerin hava miktarının fazla olması minerolojik ve fiziksel özelliklerinden kaynaklanmış olabilir. Genel olarak bakıldığında referans betona göre mineral katkıların taze betonda hava miktarını artırdığını söylememiz mümkündür.

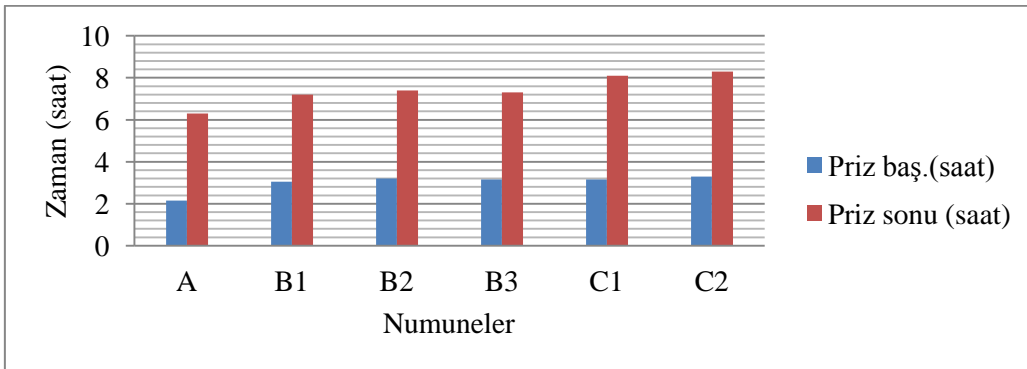
Karışımlar taze beton haline geldikten sonra sıcaklık ölçümleri yapılmış ve genel anlamda değerler birbirine yakın gibi gözükse de, referans betonda (A) en yüksek sıcaklık ölçümü yapılmıştır. Burada A 20,5°C, B<sub>1</sub> 19 °C, B<sub>2</sub> 19,1°C, B<sub>3</sub> 19,5°C, C<sub>1</sub> 19,1°C ve C<sub>2</sub> 19°C olarak ölçülmüştür. Taze beton sıcaklığının çimentonun suyla reaksiyonu sonucu ortaya çıktığını bilmekteyiz. Bu sıcaklık kontrol altında tutulmalıdır. Aksi takdirde istenmeyen bazı olaylar meydana gelebilir ve betonun servis ömrü kısılanabilir.

Bunun en kolay yolu betona priz süreci boyunca ihtiyacı olan suyu bazı yöntemlerle sağlamaktır. Örneğin gölleme yapmak, sulamak veya nemli branda ile kaplamak vb. Bunlar yapılarak betondan istenilen verim alınabilir (Erdoğan 2003).

Genel olarak değerlendirildiğinde mineral katkıların hidrasyon ısılarını düşürdüğünü söyleyebiliriz. Ancak mineral katkıların yukarıdaki çökme değerlerine bakıldığında işlenebilirlik süresini artırdığını ve priz sürelerini geciktirdiğini söyleyebiliriz.

Çizelge 4.4'e ve Şekil 4.1'e bakıldığında da numunelerin priz başlangıcı ve sonu süreleri ile su emme miktarları görülmektedir. Burada referans beton (A) numunesinin priz başlama ve sonu sürelerinin en kısa zaman (02:15-06:30 saat ) olduğu görülmektedir. Mineral katkı kullanılmış numunelere bakıldığı zaman priz başlangıcı değerleri birbirine yakın olmasına rağmen, aralarında 5 ila 30 dakika farklar vardır. Priz sonu en uzun olan numune C<sub>2</sub> numunesi 08:30 saat olduğu görülmektedir. Buradan da anlaşılacağı gibi mineral katkıların priz sürelerini uzattığını söyleyebiliriz (Çelik ve ark. 2003).

Ancak UK, katkılı numunelerin priz sonu süreleri YFC katkılı numunelere göre daha az olduğu görülmektedir. Bu sonuçta bize YFC'lerin priz sonu sürelerini daha çok geciktirdiğini göstermektedir.



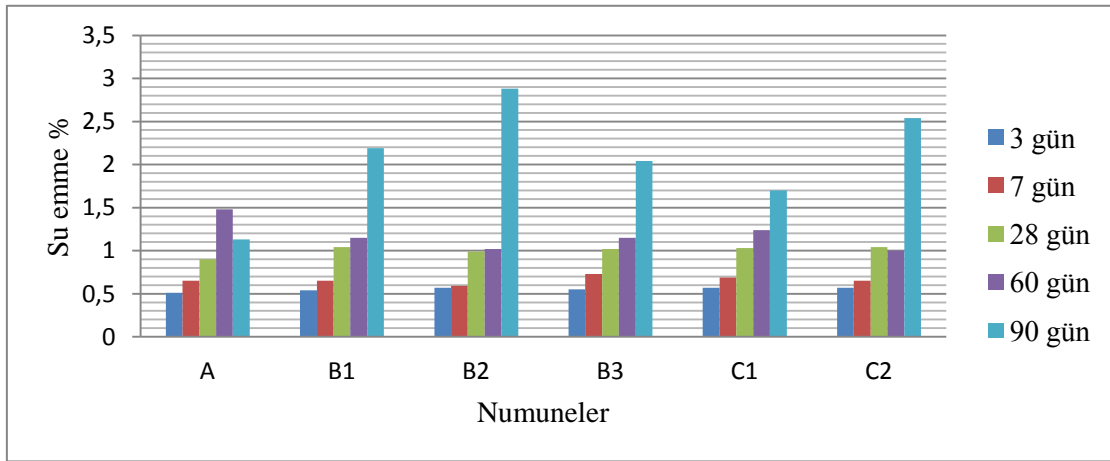
Şekil 4.1. Priz süreleri

## 4.2. Sertleşmiş Betonun Özellikleri

Tüm numunelerin 3, 7, 28, 60, 90 günlük su emmelerine baktığımız zaman, % olarak bütün zamanlarda en az değerlerin A numunesinde olduğunu görmekteyiz. Özellikle 90 günlük su emme miktarlarına baktığımızda, hem uçucu kül hem de yüksek fırın cürufu kullanılmış numunelerin % lerinin arttığını görmekteyiz. Yine 28 günlük sonuçlarda A numunesi en az % sahip olduğu görülmektedir (Çizelge 4.4).

Şekil 4.2'deki duruma bakıldığında 28 günlük sonuçlarda B<sub>1</sub> ve C<sub>2</sub> numunelerinin %1.04 olduğunu görmekteyiz. Ancak 90 günlük sonuçlarda B<sub>2</sub> numunesi %2.88 ile en yüksek değeri vermektedir.

Burada mineral katkı kullanılmış numunelerin su emmelerinin çok olması mineral atıkların minerolojik yapısından kaynaklanmış olabilir (Tokyay 2013).

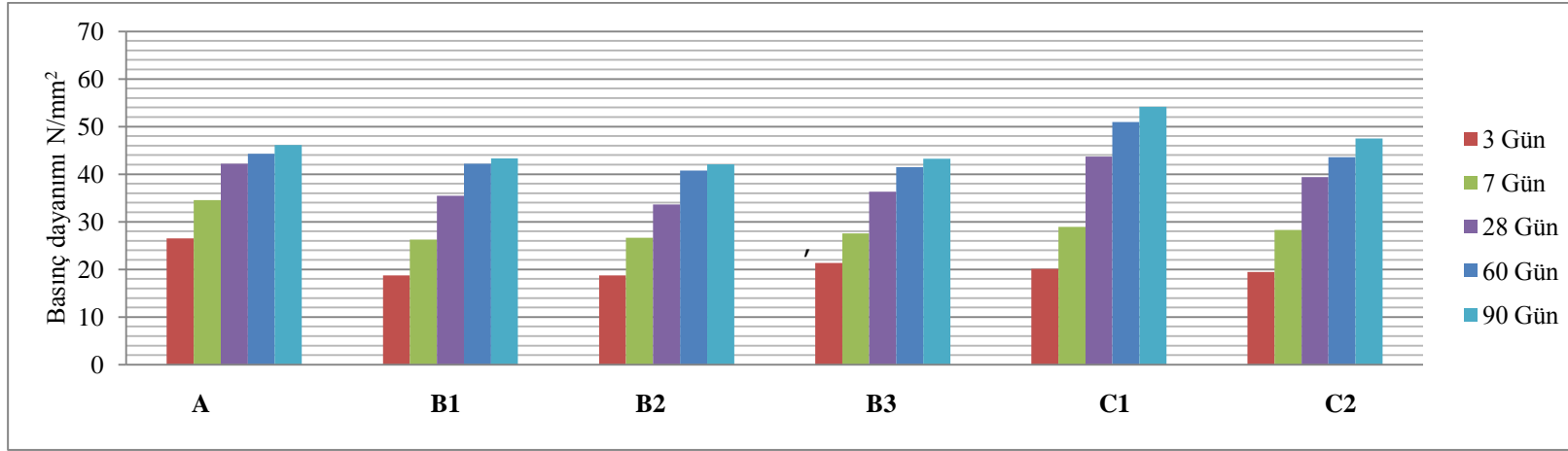


Şekil 4.2. Su emme miktarları

Kür koşullarında bekletilen beton numuneleri üzerinde yapılan tek eksenli basınç dayanımı deneyleri sonuçları Çizelge 4.3. ve Şekil 4.3'de verilmiştir

Çizelge 4.3. Sertleşmiş betonun basınç dayanımları

Lab. Beton Deneme No		A	B1	B2	B3	C1	C2
Basınç dayanımları N/mm <sup>2</sup>	3 Gün	26,50	18,77	18,75	21,34	20,09	19,46
	7 Gün	34,54	26,24	26,62	27,56	28,95	28,31
	28 Gün	42,19	35,46	33,64	36,34	43,68	39,38
	60 Gün	44,27	42,22	40,76	41,45	50,98	43,56
	90 Gün	46,10	43,30	42,10	43,27	54,17	47,48



Şekil 4.3. Sertleşmiş betonun basınç dayanımları

Çizelge 4.4. Priz süreleri ve su emme miktarları

Lab. Deneme no		A	B1	B2	B3	C1	C2
Priz başlangıcı	saat	02:15	03:05	03:20	03:15	03:15	03:30
Priz sonu	saat	06:30	07:20	07:40	07:30	08:10	08:30
Su emme (%)	3 gün	0,51	0,54	0,57	0,55	0,57	0,57
	7 gün	0,65	0,65	0,59	0,73	0,69	0,65
	28 gün	0,90	1,04	0,99	1,02	1,03	1,04
	60 gün	1,48	1,15	1,02	1,15	1,24	1,00
	90 gün	1,13	2,19	2,88	2,04	1,70	2,54

Deney sonuçlarına bakıldığında tüm denemelerde C 30 dizaynı yapılmış ve standartla göre en az 37 N/mm<sup>2</sup> basınç dayanımı hedeflenmiştir. Şekil 4.4'de 28 günlük basınç dayanımlarına bakıldığında referans betonun yanı sıra C<sub>1</sub> ve C<sub>2</sub> numunelerinin istenen dayanımı sağladığı görülmektedir. Yani %28 oranında yüksek fırın cürufu kullanılmış numuneler istenen performansı sergilemiştir. Uçucu kül kullanılmış B numunelerinden B<sub>1</sub> 35,46 N/mm<sup>2</sup>, B<sub>2</sub> 33,64 N/mm<sup>2</sup> ve B<sub>3</sub> 36,34 N/mm<sup>2</sup> basınç değeri yakalamıştır. Burada en çok yaklaşan numune B<sub>3</sub> (Çayırhan uçucu kül) olmuştur. Numunelerin kazanım oranları ise Çizelge 4.5'de verilmiştir.

Çizelge 4.5. Kazanım Oranları

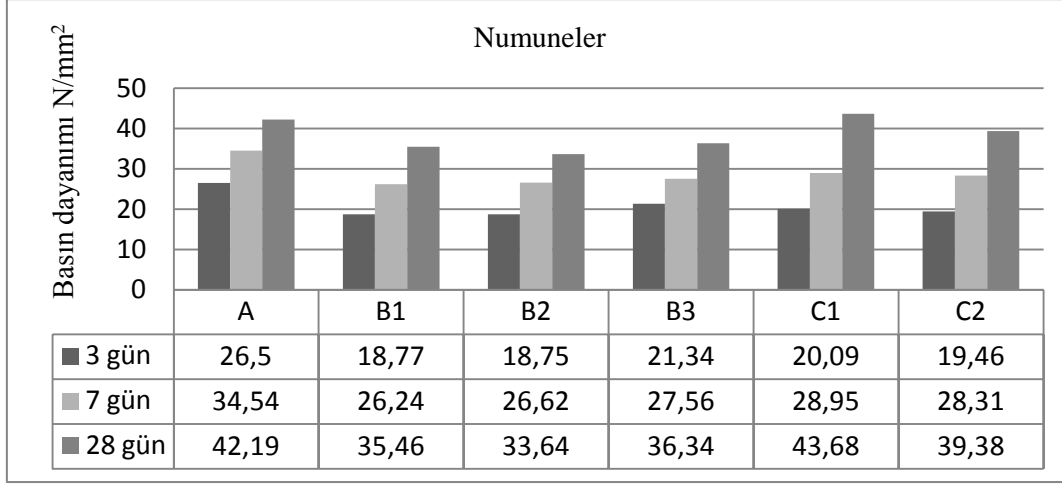
Lab. Beton Deneme No		A	B1	B2	B3	C1	C2
Basınç dayanımları N/mm <sup>2</sup>	3 Gün	26,50	18,77	18,75	21,34	20,09	19,46
	7 Gün	34,54	26,24	26,62	27,56	28,95	28,31
	28 Gün	42,19	35,46	33,64	36,34	43,68	39,38
	60 Gün	44,27	42,22	40,76	41,45	50,98	43,56
	90 Gün	46,10	43,30	42,10	43,27	54,17	47,48
3/7 Kazanım oranı	%	77	72	70	77	69	69
3/28 Kazanım oranı	%	63	53	56	59	46	49
3/60 Kazanım oranı	%	60	44	46	51	41	45
3/90 Kazanım oranı	%	57	43	45	49	37	41
7/28 Kazanım oranı	%	82	74	79	76	66	72
7 / 60 Kazanım oranı	%	78	62	65	66	57	65
7/90 Kazanım oranı	%	75	61	63	64	53	60

Ancak 60 ve 90 günlük basınç dayanımları tüm denemelerde arttığı gözlemlenmiştir. Doksan günlük sonuçlara bakıldığında yüksek fırın cürufu kullanılmış, C<sub>1</sub> ve C<sub>2</sub> numuneleri referans beton dahil tüm denemelerin önüne geçmiştir.

Bu sonuçlardan puzolan katkıların erken dayanımlarının zayıf ancak ileriki dayanımlarının güçlü olduğunu söylenebilir. Ayrıca uçucu kül kullanılmış numunelerin dayanımı, yüksek fırın cürufu kullanılmış numunelere göre daha düşük kalmıştır.

Uçucu kül oranlarının daha düşük tutulmuş olmasına rağmen (%19), yüksek fırın cürufu kullanılmış numuneler daha iyi sonuçlar vermiştir.

Şekil 4.4'deki grafik incelendiğinde 3 ve 7 günlük sonuçlar özellikle mineral katkı kullanılmış B ve C serisi tüm numuneler, şahit beton dayanımının altında kalmıştır. Ancak 28 günde ayrışma başlamış ve C serisi numunelerin dayanımları istenilen düzeyde olmuştur.



Şekil 4.4 . Basınç dayanımları (28 günlük)

Çizelge 4.6'da birim ağırlıklar değerlendirildiğinde genel olarak yüksek fırın cürufu kullanılmış numuneler diğer tüm denemelerden daha ağır olduğu ortaya çıkmaktadır. Uzun süreli (60 ve 90 gün) sonuçlarda uçucu kül kullanılmış numunelerin de referans betona göre daha ağır olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.6. Sertleşmiş Betonun Birim Ağırlıkları

Gün	Kg/m <sup>3</sup>					
	A	B1	B2	B3	C1	C2
3	2360	2309	2338	2344	2361	2343
7	2343	2324	2320	2344	2366	2350
<b>28</b>	<b>2355</b>	<b>2325</b>	<b>2330</b>	<b>2337</b>	<b>2368</b>	<b>2354</b>
60	2365	2354	2368	2355	2379	2384
90	2352	2355	2370	2353	2389	2394

Sadece 28 günlük birim ağırlıklara baktığımızda en yüksek değer C<sub>1</sub> (Oyak cüruf) numunesinde olduğunu görmekteyiz. Tüm zamanlara baktığımızda bütün denemelerin normal beton sınırları (2200-2400 kg/m<sup>3</sup>) içinde kaldığını söyleyebiliriz. Yani mineral katkı kullanılmasının birim ağırlığı olumsuz yönde etkilemesi söz konusu değildir diyebiliriz.

### 4.3.Karışımların Maliyet Analizi

Beton endüstrisinde en önemli girdi çimentodur. Yapılan tüm çalışmalar çimento miktarını düşürerek istenilen dayanımın ve özelliklerin sağlanması yönündedir. Çizelge 4.7’de şahit betonun (A) maliyet analizi kullanılan malzeme miktarı ve birim fiyat üzerinden yapılmıştır. Bu çizelgede diğer denemelerde çimento, su ve mineral katkı miktarı ve fiyatı değişeceğinden çizelge Çizelge 4.8’deki durum ortaya çıkmaktadır.

Hedeflenen 28 günlük dayanım tüm denemelerde 37 N/mm<sup>2</sup> olması gerekirken, B serisi numunelerde çok yakın sonuçlar alınmıştır. Ancak ileriki dayanımlarında artış olduğu gözlemlenmiştir. Maliyet analizi irdelendiğinde birim maliyetin tüm numunelerde referans betona göre az olduğu görülmektedir. A numunesinin 1 m<sup>3</sup> maliyeti 66,399 TL’dir. Ancak diğer denemeler bunun altında kalmıştır.

Çizelge 4.7. Şahit (Referans) Beton Maliyet Analizi

Malzemeler	Miktar (kg)	TL/Ton	TL/m <sup>3</sup>	Toplam Maliyet içindeki %'si
Çimento	320	120,00	38,40	57,8
Mineral Katkı	0	0,00	0,00	0,0
Su	176	0,00	1,36	2,0
Kırma Kum(0,3)	411	18,00	7,40	11,1
Kırma Kum	558	11,00	6,14	9,3
Kırmataş No:1	378	11,00	4,16	6,3
Kırmataş No:2	529	11,00	5,82	8,8
Kimyasal Katkı 1	4,160	0,75	3,12	4,7
<b>Σ(TL)</b>			<b>66,399</b>	<b>100</b>

Bu analiz de mineral katkının üretim yapılan yere mesafesi, yine diğer beton bileşenlerinin birim maliyeti çok etkilidir ve fiyatları değiştirebilir. Beton üretimi yapılacak yerin nerede olduğu ve karışıma girecek malzemelerin edinme maliyeti çok önemlidir.

Bütün bunlar göz ardı edilse bile, betonda atık olan bazı mineral katkıların kullanılması çevre ve ekonomi açısından çok önemlidir. Karışıma girecek atık katkıların

oranları değiştirilerek istenilen dayanım ve dayanıklılığın karşılanacağı ortadadır. Dolayısı ile maliyet anlamında atık katkı kullanılan betonların fiyatı referans betona göre, daha düşük olduğundan kullanılması gerekmektedir.

Bununla birlikte termik santrallerden elde edilen kömür kaynaklı uçucu küller ile yüksek fırın cürufu ve silis dumanı gibi atıklar artık günümüzde beton için standartlaşmış birer yan ürün olarak kullanılabilmekte ve atık olarak düşünülmemektedir. Bu ve benzeri malzemelerin beton üretiminde kullanımının yaygınlaştırılması, çevre kültürünün ve çevre bilincinin geliştirilmesi ve atıkların değerlendirilmesi amacıyla araştırma geliştirme faaliyetlerine önem verilmelidir.

Beton üretiminde az çimento kullanarak dayanımı yüksek ve dayanıklı beton üretilirse, sürdürülebilir beton üretilmiş olur. Özellikle kimyasal katkıları yardımıyla düşük su-çimento oranıyla geçirimsizliği az, dayanımı yüksek beton üretilmektedir. Beton üretiminde çimento ile beraber uçucu kül, öğütölmüş granüle yüksek fırın cürufu gibi mineral katkıları kullanılırsa, hem beton performansı artabilmekte hem de çevreye duyarlı beton üretilmiş olmaktadır. Örneğin Amerikan Kömür Külü Birliğinin verilerine göre, 2007 yılında Amerika'da 17 milyon ton uçucu kül hazır beton sektöründe kullanılmış olup, doğaya zarar verecek atık bir madde olan uçucu külün bu sayede geri dönüşümü sağlanmıştıdır. Ayrıca, daha az klinker içeren yüksek oranda mineral bileşen içeren çimentolar kullanılarak da sürdürülebilirliğe katkı sağlanır.

Çizelge 4.8. Tüm Beton Numunelerin Maliyet Analizi

Dökülen Numune Betonlar		Malzemeler								Toplam maliyet(TL)
		Çimento	Mineral katkı	Su	D.kum	K.kum	1 nolu	2 nolu	Kimyasal katkı	
<b>A</b>	Miktar(kg)	320	0	176	411	558	378	529	4,16	<b>66,399</b>
	TL/ton	120	0	7,73	18	11	11	11	0,75	
	TL/m <sup>3</sup>	38,40	0	1,36	7,40	6,14	4,16	5,82	3,12	
<b>B<sub>1</sub></b>	Miktar(kg)	260	60	182	403	547	370	518	4,16	<b>61,046</b>
	TL/ton	120	38	7,73	18	11	11	11	0,75	
	TL/m <sup>3</sup>	31,20	2,28	1,41	7,25	6,02	4,07	5,70	3,12	
<b>B<sub>2</sub></b>	Miktar(kg)	260	60	182	403	547	370	518	4,16	<b>61,016</b>
	TL/ton	120	37,50	7,73	18	11	11	11	0,75	
	TL/m <sup>3</sup>	31,20	2,25	1,41	7,25	6,02	4,07	5,70	3,12	
<b>B<sub>3</sub></b>	Miktar(kg)	260	60	182	403	547	370	518	4,16	<b>60,926</b>
	TL/ton	120	36,00	7,73	18	11	11	11	0,75	
	TL/m <sup>3</sup>	31,20	2,16	1,41	7,25	6,02	4,07	5,70	3,12	
<b>C<sub>1</sub></b>	Miktar(kg)	250	70	182	407	553	374	524	4,16	<b>64,248</b>
	TL/ton	120	92	7,73	18	11	11	11	0,75	
	TL/m <sup>3</sup>	30	6,44	1,41	7,32	6,08	4,11	5,76	3,12	
<b>C<sub>2</sub></b>	Miktar(kg)	250	70	182	407	553	374	524	4,16	<b>64,458</b>
	TL/ton	120	95	7,73	18	11	11	11	0,75	
	TL/m <sup>3</sup>	30	6,65	1,41	7,32	6,08	4,11	5,76	3,12	



## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan araştırma sonuçları aşağıdaki şekilde özetlenebilir.

UK'lerin inşaat sektöründe çok büyük kullanım potansiyelinin bulunduğunu göstermektedir. UK kullanımının özellikle çimento, beton ve yapı malzemelerinin üretiminde daha yaygın olduğu görülmektedir.

Bununla birlikte UK'ün zararlı ortamlara dayanıklılık, ekonomi ve çevreye etkisini inceleyen uzun süreli daha çok araştırmaya ihtiyaç vardır. Türkiye'de ve Dünya'da bu atığın değerlendirilmesi durumunda, enerji tasarrufu sağlanması, daha ucuz ve kaliteli malzeme üretilmesi, atık malzemenin geri dönüştürülmesiyle ülke ekonomisine katkı sağlanmasının yanı sıra, hem doğal hammadde ile ekolojik dengenin korunması hem de çevre kirliliğinin önlenmesi mümkün görünmektedir (Aruntaş 2006).

Uçucu kül ikamesi beton işlenebilirliğini olumlu yönde etkilemektedir. Uçucu kül ikame miktarının çimentonun % 5'inden fazla olması sertleşme sürelerini arttırmaktadır. Uçucu kül çimento gibi bağlayıcılık özelliği göstermesine rağmen, tam olarak çimentonun bağlayıcılık özelliğini sergileyememekte ve basınç dayanımını düşürmektedir (Gündeşli 2008).

Uçucu kül katkılı betonların üretiminde uçucu külün olumsuz bir etkisi görülmemiştir. Betonun işlenebilmesi üzerine beton üretiminde çimento yerine ağırlıkça %15-20 oranında uçucu kül kullanıldığında, normal betonlara eşdeğer dayanım değerleri elde edilmektedir. Ancak uçucu kül oranı arttıkça dayanımda azalma meydana gelmektedir (Tokyay 2013).

YFC'nun çimento ve beton yapımında oldukça olumlu bir puzolan olduğu bilinmektedir. Özellikle çimento ile ikame ettirilerek hem mühendislik özellikleri daha üstün, hem de daha ucuz beton üretimine olanak vermektedir (Emiroğlu ve ark. 2011).

YFC betonda olduğu gibi zeminde de tercih edilmesi gereken bir malzemedir. Hatta zemine olan katkıları çok daha fazladır ve yol altyapıları için mutlaka tercih edilmelidir (Okyay ve Akkaya 2011).

YFC özellikleri değişken bir malzeme olduğundan ilgili standart ve şartnameler ışığında özelliklerine bakılarak ve araştırmaları yapılarak beton ya da zemin içinde kullanılmalıdır.

YFC; hem atık bir malzemenin geri dönüşümünü sağlayarak, hem de çimento ve beton gibi diğer malzemelerin CO<sub>2</sub> yayarak verdikleri zararı indirgeyerek, çevre yönünden olumlu bir malzeme haline gelmektedir (Okyay ve Akkaya 2011).

Demir-çelik fabrikalarının yan ürünü veya atık malzemesi olan çelikhane cürufunun da inşaat sektörü için değerli bir hammaddeye dönüşmesi, ülkemizde bu malzeme üzerine de yapılacak araştırmalara bağlıdır ( Bilgen ve ark. 2010).

Yapılan deneysel çalışma sonuçları aşağıdaki şekilde özetlenebilir.

UK'lerin, çimento hamurunun priz başlama ve priz sonu sürelerini artırmıştır. Çatalağzı UK'ünün priz sürelerine etkisi daha fazladır.

YFC'lerin çimento hamurunun priz başlama ve priz sonu sürelerini artırmıştır. Karabük YFC 'nun priz sürelerine etkisi daha fazladır.

Uçucu kül ve yüksek fırın cürufu ikamesiyle işlenebilirliğin arttığı, gözlemlenmiştir.

Uçucu kül ikamesinin erken yaşlarda dayanımı azalttığı ve normal betona göre daha uzun kür edilme zamanı istediği gözlemlenmiştir. Yüksek fırın cürufu ikamesinin betonda erken yaşlarda nispeten düşük, geç yaşlarda ise daha yüksek beton dayanımına sebep olduğu gözlemlenmiştir.

Yirmi sekiz günlük basınç dayanımlarına bakıldığında referans betonun yanı sıra C<sub>1</sub> ve C<sub>2</sub> numunelerinin istenen dayanımı sağladığı görülmektedir. Yüksek fırın cürufu kullanılmış numuneler istenen performansı sergilemiştir. Uçucu kül kullanılmış numuneler de ise 28 günlük dayanımlar alınamamıştır. Burada UK oranının belirlenen orandan biraz daha az kullanılmasının faydalı olacağı düşünülmektedir.

Uçucu kül ikamesinin kuruma rötresini azalttığı gözlemlenmiştir. Yüksek fırın cürufunun ikamesiyle rötreyi CEM I 42,5 R çimentosu kullanıldığı durumlardan daha değişik etkilemediği gözlemlenmiştir (Tokyay 2013).

Numunelerin slumplarına bakıldığında başlangıç çökme değerleri birbirlerine yakın görülmektedir. En yüksek çökme değeri B<sub>3</sub> (Çayırhan uçucu kül) denemesinde meydana (20 cm) gelmiştir.

Taze betonun birim ağırlıklarına bakıldığı zaman uçucu kül ve yüksek fırın cürufu kullanılmış numuneler de, hemen hemen birbirine yakın değerler görülmektedir. En yüksek değer ise Karabük YFC kullanılmış C<sub>2</sub> denemesinde olmuştur. Buda minerolojik ve tane yapısından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Uçucu kül kullanılmış numunelerde hava miktarının arttığı gözlemlenmiştir. YFC kullanılmış numunelerde nispeten hava miktarı daha azdır. Uçucu kül kullanılmış numunelerin hava miktarının fazla olması minerolojik ve fiziksel özelliklerinden kaynaklanmış olabilir. Genel olarak bakıldığında referans betona göre, mineral katkıların taze betonda hava miktarını artırdığını söylememiz mümkündür.

Taze beton sıcaklıklarında en yüksek sıcaklık referans beton numunesinde olduğu gözlemlenmiştir. UK ve YFC kullanılmış betonlarda sıcaklığın daha düşük olduğu tesbit edilmiştir. Burada genel olarak puzolan katkıların beton ısını düşürdüğünü söyleyebiliriz.

Uçucu kül ikamesinin betonun hidrasyon ısısına etkileri hakkında yeterli çalışma olmamakla beraber, uçucu küllerin özellikle baraj yapımında, kütle betonlarında ortaya çıkan yüksek ısıları kontrol etmede kullanıldığı gözlemlenmiştir. Uçucu kül ikamesinin hidrasyon ısısını bazı araştırmacılara göre azalttığı, bazı araştırmacılara göre de arttırdığı öne sürülse de bu konuda yeterli çalışma olmadığı gözlemlenmiştir ve bu konudaki araştırmaların devam ettirilmesi gerektiği düşünülmektedir.

Yüksek fırın cürufu ikamesi ise hidrasyon ısısını azaltarak, hem maksimum beton sıcaklığını düşürdüğü hem de bu maksimum sıcaklığa erişilen süreyi azalttığı gözlemlenmiştir (Tokyay 2013).

Maliyet analizi tablosunda tüm üretimlerde referansa göre daha ucuz olduğu tespit edilmişse de, burada önemli olan beton üretimi yapılacak yerin kaynaklara olan mesafesidir. Ulaşım maliyetleri birim maliyeti artırabilir. Ancak çevresel anlamda düşünüldüğünde bazı maliyetler göz ardı edilebilir.

Gelişmekte olan ülkemiz için yatırım sektörünün lokomotifini sayılan inşaat sektörünün her dalında çimento kullanılmaktadır. Çimentonun kaliteli oluşu insanoğlunun geleceğinin de teminat ve garantisi sayılmaktadır. Kaliteli çimento ile bilinçli olarak yapılan yapılar, daha sağlam ve daha uzun ömürlü olacağından israfın da önüne geçilmiş olunur. Çimentonun daha ucuz elde edilebilmesi, yurt ekonomisine büyük katkı sağladığı gibi yatırım sektörünün teşvik edilmesinde de büyük rol oynamaktadır.

Çimentoyu ucuz üretebilmenin bir yolu da katkı maddelerinin kullanılması ile mümkündür. Bu katkı maddelerinin başında da puzolanik maddeler gelir. Türk Standartları'nda belirtilen normlara uymak şartıyla üretilen ve bilinçli olarak yerli yerinde kullanılan puzolanlar ile elde edilen çimento ile yapılan betonlar, hem daha ucuz hem daha sağlam olacağı düşünülmektedir.

## 6. KAYNAKLAR

- Akperov A (2006). Betonun Zamana Bağlı Deformasyonlarının Tahmini. İTÜ Dergisi,5 (3), 155-164.
- Alkaya Ş (2010). Hafif Beton Üretiminde Organik Atıkların Kullanılabilme Olanakları. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.
- Anonim (1978). Betonda Priz Süresinin Tayini. TS 2987, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anonim (1981). Sertleşmiş Betonda Özgül Ağırlık, Su Emme ve Boşluk Oranı Tayini Metodu. TS 3624.Türk Standartlar Enstitüsü, Ankara.
- Anonim (1985). Beton Karışımı Hesap Esasları. TS 802, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anonim (1992a). Çimento, Uçucu Küllü Çimento(Tanımı, özellikleri). TS 639, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anonim (1992b). Çimento, Uçucu Küllü Çimento. TS 640, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anonim (1998). Uçucu Kül, Betonda kullanılan -Tarifler, Özellikler ve Kalite Kontrolü. TS EN 450, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anonim (2000). Uçucu Kül, Deney Metotları. TS EN 451-1, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2000.
- Anonim (2002). Çimento - Genel Çimentolar - Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri. TS EN 197-1, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anonim (2009). Beton Agregaları. TS 706 EN 12620, Türk Standartlar Enstitüsü, Ankara.
- Anonim (2010a). Beton, Taze Beton Deneyleri (Yoğunluk Deneyi). TS EN 12350-6, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anonim (2010b). Beton- Taze Beton Deneyleri (Hava muhtevası –Basınç kap tekniği). TS EN 12350-7, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anonim (2010c). Beton-Taze Beton Deneyleri ( Çökme Deneyi). TS EN 12350-2, Türk Standartlar Enstitüsü, Ankara.
- Anonim (2010d). Beton- Taze Beton Deneyleri (Hava muhtevası –Basınç kap tekniği). TS EN 12350-7, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anonim (2010e). Beton, Sertleşmiş Beton Deneyleri. (Dayanım Deneylerinde Kullanılacak Deney Numunelerinin Hazırlanması ve Kürlenmesi), TS EN 12390-2,Türk Standartlar Enstitüsü, Ankara.

- Anonim (2010f). Beton, Sertleşmiş Beton Deneyleri (Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini). TS EN 12390-3, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Aruntaş HY (2006).Uçucu küllerin İnşaat sektöründe kullanım potansiyeli, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 21 (1), 193-203.
- Astm C 618 (1991). Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Portland Cement Concrete. ASTM, Philadelphia.
- Atanur A (1983). Yol Yapımında Yüksek Fırın Cürufu. Karayolları Genel Müdürlüğü Yayınları No.241 92s Ankara.
- Beycioğlu A, Başyığıt C, Subaşı S (2008). Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanımı ile Geri Kazanılması ve Çevresel Etkilerinin Azaltılması. Çevre Sorunları Sempozyumu, I.Cilt, 1386-1394, Kocaeli.
- Bilgen G (2004). Yüksek Fırın Cürufu ile Zemin Stabilizasyonu.Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Bilgen G, Kavak A, Yıldırım ST, Çapar ÖF (2010). Yüksek Fırın Cürufunun İnşaat Sektöründeki Yeri ve Önemi, 2. Ulusal Katı Atık Yönetimi Kongresi Bildirileri, Cilt 1: 506-513, Mersin.
- Butalia T, Wolfe W,Dick W, Limes D,Stowell R (2000).Coal Combustion Products. Coal Combustion Products Extension Program, Ohio State University Sheet.
- Candemir B,Beyhan B, Karaata S (2012). İnşaat Sektöründe Sürdürülebilirlik, Yeşil Binalar ve Nanoteknoloji Stratejileri. İmsad Yayın No. İmsad-R/2012-11/374, 88s İstanbul.
- Çelik MH, Aruntaş HY, Baran Y (2003). Seyitömer ve Çayırhan Uçucu Küllerinin Portland Çimentosu-Uçucu Kül Hamurunun Priz Başlama ve Sonu Sürelerine Etkisi. Politeknik Dergisi, Cilt: 6 Sayı:1 397-409.
- Çevik M (1993). Yüksek Fırın Cüruf ve Uçucu Külden Taşıyıcı Hafif Agrega Üretimi. Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanımı Sempozyumu Bildiriler Kitabı, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Ankara Şubesi Yayınları, Ankara, 235-242.
- Çil İ (2003).Uçucu Küllerin Beton Yapımında Kullanımı.56. Jeoloji Kurultayı Raporu, İliön Çimento Sanayi ve Ticaret A.Ş.
- Dal M, Kılınç C, Eren, Işık A (2013).Beton Teknolojisi ve Beton Teknolojisi Laboratuvarı. Mimarlık Vakfı İktisadi İşletmesi yayınları, I.baskı, 164s İstanbul.
- Dayı M (2006). Doğal ve Yapay Puzolanların Kompoze Çimento Üretiminde Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- Erdoğan TY (1993). Atık Malzemelerin İnşaat Endüstrisinde Kullanımı. Uçucu Kül ve Yüksek Fırın Cürufu, Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması

Sempozyumu Bildiriler Kitabı, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Ankara Şubesi Yayınları, Ankara, 48-71.

Erdoğan TY (2003). Beton. ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş. 741s, Ankara.

Emiroğlu M, Koçak Y, Subaşı S (2011). Yüksek Fırın Cürufunun Betonun Fiziksel ve Mekanik Özelliklerine Etkisi. 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), Cilt 1: 113-117, Elazığ.

Gani MSJ (1997). Cement and Concrete. Faculty of Engineering Monash University Clayton, Victoria, Australia, 83-90.

Gül R, Yıldız İ (1997). Uçucu Küllerin İnşaat Sektöründe Kullanılması. Teknik Bülten, Ankara 57-60.

Gündeşli U (2008). Uçucu Kül, Silis Dumanı ve Yüksek Fırın Cürufunun Beton ve Çimento Katkısı Olarak Kullanımı Üzerine Bir Kaynak Taraması. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.

Grinenko V, Cowan D, (2002). Development Of Integrated Solid Industrial Waste Management System at Aktubinsk Ferroalloys Plant. The Project in Aktubinsk Ferroalloys Plant. [http://pdf.usaid.gov/pdf\\_docs/Pnada667.pdf](http://pdf.usaid.gov/pdf_docs/Pnada667.pdf) erişim tarihi, 22.12.2014)

Leckebush, R (1984). Türkiye'deki Doğal Puzolanların Çimento Katkı Maddesi Olarak Kullanımı. Çimento Araştırma ve Geliştirme Merkezi Yayınları, Ankara 1-10.

Neville AM, Brooks JJ (1987). Concrete Technology. Longman Scientific and Technical, p.285.

Okyay Ö, Akkaya Y (2011). Yüksek Dayanım ve Yüksek Performanslı Betonlarda Yüksek Fırın Cürufu Kullanımı. Beton 2011 Kongresi bildirileri, Cilt:1 388-394, İstanbul.

Özkul H, Taşdemir MA, Tokyay M, Uyan M (2004). Her Yönüyle Beton. Türkiye Hazır Beton Birliği Yayınları, 128s İstanbul

Özkan Ö (2007). Atık Cam ve Yüksek Fırın Cürufu Katkılı Harçların Özellikleri. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 22 (1), 87-94.

Subaşı S (2008). Uçucu Kül Katkı Miktarının Beton İşlenebilirliği ve Sertleşme Sürelerine Olan Etkisi. Beton 2008 Kongresi bildirileri, Cilt 1: 438-447, İstanbul.

Sümer M (1998). F-Tipi Uçucu Külün Beton Dayanımına ve Kılcal Su Emmesine Etkileri. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Cilt 2: 35-40.

Şimsek O (2004). Beton ve Beton Teknolojisi. Seçkin Yayıncılık, I. Baskı, 118s Ankara.

Ramyar K (1993). Uçucu Küllerin Çimento Harcının Büzülmesine ve Betonun Karbonatlaşmasına Sebep Olan Etkileri. Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe

Kullanılması Sempozyumu Bildiriler Kitabı, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Ankara Şubesi Yayınları, Ankara, 22-33.

Tokyay M (2013). Betonda Uçucu Kül, Yüksek Fırın Cürufu ve Silis Dumanının rolü. Beton 2013 Kongresi Çağrılı Bildiriler, Cilt 2: 201-238, İstanbul.

Topçu İB, Canbaz M (2001). Uçucu Kül Kullanımının Betondaki Etkileri. Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi C.XIV, No:2, 11-23.

Türker P, Erdoğın B, Katnaş F, Yeğınobalı A (2009). Türkiye'deki Uçucu Küllerin Sınıflandırılması ve Özellikleri. TÇMB.Yayınları, Ankara 17-42.

Ünal O, Uygunoğlu T (2004). Soma Termik Santral Atığı Uçucu Külün İnşaat Sektöründe Değerlendirilmesi. Türkiye 14. Kömür kongresi bildiriler kitabı, Cilt 1: 310-321, Zonguldak.

Yazıcı H (2006). Yüksek Fırın Cürufu Katkılı Harçların Sülfat Dayanıklılığının İncelenmesi. DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 8 (1), 51-58.

Yılmaz Y (2013). Beton Endüstrisinde Sürdürülebilir Üretim. Beton 2013 Kongresi Bildirileri, Cilt 1: 145-155, İstanbul.

## TEŞEKKÜR

Bu tezi hazırlamamda bana yardımcı olan ve yol gösteren sayın hocam Doç. Dr. Can Burak ŞİŞMAN'a teşekkür ederim. Tez numunelerini hazırlamamda ve takibinde bana yardımcı olan Aydos Yapı Kimyasalları firmasının sahibi sayın Hüseyin ÇAĞ'a , Laboratuvar Őefi sayın Ahmet ŐAHİN 'e ve laboratuvar teknisyeni Emre Sait TOPALOĞLU' na çok teşekkür ederim. Ayrıca gösterdikleri sabır için aileme çok teşekkür ederim.



## ÖZGEÇMİŞ

İlk ve orta öğrenimimi Ankara da tamamladıktan sonra 1990 yılında Ankara Yapı Meslek ve İnşaat Teknik Lisesi Yapı Bölümü'nü kazandım. Bir yıl sonra okulun teknik lise kısmına geçiş yaptım. Bin dokuz yüz doksan dört yılında Alt Yapı Bölümü'nü bitirdim. Bin dokuz yüz doksan dokuz yılında Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Öğretmenliği Bölümünü bitirdim. Bin dokuz yüz doksan dokuz yılı ekim ayında MEB İstanbul Yapı Meslek ve İnşaat Teknik Lisesi'ne Yapı Öğretmeni olarak atandım. Askerliğimi 2001 yılında yedek subay olarak tamamladım. Askerlik dönüşünde yine aynı kurumda görevime devam ettim. Avrupa Birliği'nin desteklediği Mesleki Eğitimi Güçlendirme Projesi (2005 yılı- MEGEP) kapsamında çeşitli çalışmalara katıldım. Ders modülleri yazdım. MEGEP kapsamında ortaya çıkan yeni alan ve dallardan biride Yapı Zemin ve Beton Laboratuvarı olduğundan, 2007 yılında çeşitli kurumların desteğini alarak laboratuvarın kuruluş çalışmalarını yaptım. Şubat 2013 de yapılan Beton Kongresi'nde bir makalem yayınlandı. Halen Sultanbeyli Teknik ve Endüstri Meslek Lisesi'nde çalışmaktayım.