

**T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KATKILI BETONLARIN DONMA-ÇÖZÜLMEME  
KARŞI PERFORMANSLARININ İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**İnş.Müh. Doğan TAN**

**Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**  
**Enstitü Bilim Dalı : YAPI MALZEMESİ**  
**Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. MANSUR SÜMER**

**EYLÜL 2010**

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KATKILI BETONLARIN DONMA-ÇÖZÜLMEMEYE  
KARŞI PERFORMANSLARININ İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş.Müh. Doğan TAN

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Enstitü Bilim Dalı : YAPI MALZEMESİ

Bu tez / /2010 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

Yrd. Doç. Dr. Mansur SÜMER  
Jüri Başkanı

Prof. Dr. Kenanettin  
SILMAZ

Üye  
Prof. Dr. Ahmet APAY

## **TEŞEKKÜR**

Tezin hazırlanması aŐamasında bana her tűrlű desteęi veren danıŐman hocam Sayın Yrd. Doę. Dr. Mansur SÜMER' e minnet ve Őukranlarımı sunarım. Eęitimim boyunca emeęi geęen tűm hocalarıma da minnet duygularımı sunmayı bir borę bilirim.

## İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	viii
TABLolar LİSTESİ.....	ix
ÖZET.....	x
SUMMARY.....	xi

### BÖLÜM 1.

GİRİŞ.....	1
------------	---

### BÖLÜM 2.

BETONU OLUŞTURAN MALZEMELER.....	2
2.1. Çimento.....	2
2.1.1. Portland çimentosu'nun tarihi.....	3
2.1.2. Çimentonun üretimi.....	5
2.1.3. Çimento tipleri.....	7
2.1.3.1. CEM çimentosu.....	7
2.1.3.2. Portland çimentosu klinkeri.....	8
2.1.3.3. Ana tipler.....	8
2.2. Agregası.....	8
2.3. Su.....	9
2.4. Puzolanlar.....	9
2.4.1. Puzolanların tarihi.....	9

2.4.2. Puzolanik reaksiyon ürünleri.....	11
2.4.3. Puzolanların sınıflandırılması.....	11
2.5. Yapay Puzolanlar.....	12
2.5.1. Uçucu kül.....	14
2.5.2. Granüle yüksek fırın cürufu.....	15
2.6. Puzolan İçeren Çimentoların Özellikleri.....	16
2.6.1. Prizlenme zamanı.....	17
2.6.2. Dayanım.....	17
2.6.3. Geçirimlilik ve gözeneklilik.....	18
2.6.4. Hidratasyona etkisi.....	19
2.6.5. Alkali - silika reaksiyonuna (ASR) dayanıklılık.....	20
2.7. Betonda Kullanılan Kimyasal Katkıları.....	20
2.7.1. Süper akışkanlaştırıcılar.....	21
<b>BÖLÜM 3.</b>	
<b>DURABİLİTE</b> .....	22
3.1. Durabilite nedir .....	22
3.2. Durabiliteyi Etkileyen Faktörler.....	22
3.2.1 Fiziksel-mekanik faktörler.....	22
3.2.2 Kimyasal faktörler.....	24
3.2.3 Biyolojik faktörler.....	24
3.3. Durabiliteyi Arttıran Faktörler.....	25
3.4. Donma Çözünme Olayı.....	25
3.4.1 Donma çözünme olayına karşı alınacak önlemler.....	28
3.5. Donma-Çözünme Olayının Durabiliteye Etkisi.....	28
3.5.1 Taze betonda donma çözünme olayı.....	28
3.5.2. Sertleşmiş betonda donma çözünme etkisi.....	29
3.6 Durabiliteyi Azaltan Faktörler.....	29
<b>BÖLÜM 4.</b>	
<b>DENEYSEL ÇALIŞMA</b>	
4.1. Deneysel Çalışma.....	30
4.2. Çalışmanın Yapılışı.....	30
4.3. Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri.....	31

4.3.1.Çimento .....	31
4.3.2. Agregas.....	31
4.3.3. Su.....	31
4.3.4. Yüksek fırın cürufu.....	32
4.3.5. Uçucu kül.....	32
4.4. Beton Karışımlarının Hazırlanması ve Dizaynı.....	32
4.5. Sertleşmiş Beton Numuneleri Üzerinde Yapılan Deneyler.....	37
4.5.1. Basınç dayanımı.....	37
4.5.2. Donma çözünme deneyi.....	38
4.6. Sertleşmiş Betonda Deney Sonuçları.....	38
<b>BÖLÜM 5.</b>	
<b>SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....</b>	<b>44</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>49</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>52</b>

## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

TS	: Türk standartları
M.Ö	: Milattan önce
yy	: Yüzyıl
Ca(OH) <sub>2</sub>	: Kalsiyum hidroksit
SiO <sub>2</sub>	: Silisyum dioksit
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	: Demir oksit
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	: Alüminyum oksit
CaO	: Kalsiyum oksit
CaCO <sub>3</sub>	: Kalsiyum karbonat
MgO	: Magnezyum oksit
CaSO <sub>4</sub>	: Kalsiyum sülfat
NaCl	: Sodyum klorür
NaOH	: Sodyum hidroksit
Cl	: Klor
SO <sub>3</sub>	: Kükürt trioksit
C <sub>4</sub> AF	: Tetrakalsiyum alüminoferrit
C <sub>3</sub> A	: Trikalsiyum alüminat
C <sub>3</sub> S	: Trikalsiyum silikat
C <sub>2</sub> S	: Dikalsiyum silikat
C-S-H	: Kalsiyum-Silika-Hidrate
TÇ	: Translı çimento
SD	: Silis dumanı
ASTM	: American Society for Testing Materials
ASR	: Alkali - silika reaksiyonu
D.P.T.	: Devlet Planlama Teşkilatı
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
Y.F.C.	: Yüksek fırın cürufu

G.Y.F.C.	: Granüle yüksek fırın cürufu
kwh	: Kilowatt saat
CEM I	: Portland çimentosu
CEM II	: Portland -kompoze çimento
CEM III	: Portland yüksek fırın cürufu çimento
CEM IV	: Puzolanik çimento
CEM V	: Kompoze çimento
°C	: Celcius derecesi
g	: Gram
N	: Newton
mm	: Milimetre
lt	: Litre
Mpa	: Megapascal



## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Klinker üretim akım şemasının blok diyagramı.....	7
Şekil 2.2.	Puzolanların sınıflandırılması ve türleri.....	12
Şekil 4.1	Beton basınç deney presisi.....	37

## TABLolar LİSTESİ

Tablo 4.1.	DeneySEL çalışmada kullanılan çimentonun fiziksel özellikleri.....	30
Tablo 4.2.	DeneySEL çalışmada kullanılan uçucu kül kimyasal özellikleri....	31
Tablo 4.3.	DeneySEL çalışmada kullanılan agrega için elek analizi.....	32
Tablo 4.4.	DeneySEL çalışmada kullanılan betondaki agrega karışım oranları	33
Tablo 4.5.	DeneySEL çalışmada 1m <sup>3</sup> beton için gerekli malzeme miktarları...	34
Tablo 4.6.	DeneySEL çalışmada kullanılan 12dm <sup>3</sup> için malzeme miktarları....	35
Tablo 4.7.	300dz Basınç betonların basınç dayanımları .....	38
Tablo 4.8.	300dz Basınç betonların basınç dayanımları grafik gösterimi .....	38
Tablo 4.9.	400dz Basınç betonların basınç dayanımları .....	39
Tablo 4.10.	400dz Basınç betonların basınç dayanımları grafik gösterimi .....	
Tablo 4.11.	300 ve 400 Dz lu betonların donma-çözünme deneyi sonrası bulunan basınç dayanımı sonuçları	40
Tablo 4.12.	Deneye tabi tutulan 300 dz lu beton numunelerin ağırlıkları	40
Tablo 4.13.	Deneye tabi tutulan 400 dz lu beton numunelerin ağırlıkları	41
Tablo 4.14.	300 dz lu betonların basınç dayanımlarının karşılaştırılmalı gösterilmesi	41
Tablo 4.15.	400 dz lu betonların basınç dayanımlarının karşılaştırılmalı gösterilmesi	42

## ÖZET

Anahtar kelimeler: Beton, Uçucu Kül, Yüksek Fırın Cürufu, Puzolan, Basınç Dayanımı, Donma-Çözülme.

Bu çalışmada, 300 ve 400 dozlu betonda yüksek fırın cürufu ve uçucu kül'ün donma çözünme karşısında betonun durabilitesine olan etkileri incelenmiştir. Betona karışım esnasında çimento yerine çeşitli oranlarda (%10, %20, %30, %40) uçucu kül ve yüksek fırın cürufu katılarak 7., 28. ve 56. günlerde laboratuvar ortamında çeşitli deneyler yapılmış ve puzolan kullanılmayan şahit numune ile bir karşılaştırma yapılmıştır.

Beş bölüm halinde sunulmuş olan bu çalışmanın, birinci bölümünde konunun tanıtılması ve konunun önemi vurgulanmıştır.

İkinci bölümde betonu oluşturulan malzemeler tanıtılarak, bunların betonun mekanik özelliklerine olan etkilerinden bahsedilmiştir.

Üçüncü bölümde betonun durabilitesi hakkında bilgiler ve durabiliteyi etkileyen faktörlerden bahsedilmiştir.

Dördüncü bölümde, yapılan deneysel çalışmanın amacı, deneyde kullanılan malzemeler, malzemelerin özellikleri ile yapılan deneyler anlatılarak deney sonucu bulunan değerler, tablo ve grafik halinde verilmiştir.

Son bölümde analiz sonuçları karşılaştırılmış ve genel bir değerlendirme yapılmıştır.

## **SUMMARY**

Key words: Concrete, fly ash, blast furnace slag pozzolan, compressive strength, freeze-thaw.

In this study, 300 and 400 dose concrete blast furnace slag and fly in the face of ash freeze thaw durability of concrete were investigated. Concrete instead of cement during mixing various proportions (%10, %20, %30, %40) of fly ash and blast furnace slag by participating in the 7th, 28th and 56th pozzolan has been used in various experiments in the 14 days and a comparison was made with witness sample.

This study was presented in five chapters, the first chapter to introduce the topic and stressed the importance of issue.

Concrete materials generated by introducing the second part, their effects are mentioned in the mechanical properties of concrete.

Durability of concrete information about the factors affecting the third section and durability mentioned.

The fourth chapter the experimental study. The materials used in the experiment with experiments explaining the result values in the properties of materials are given in tables and graphs.

The results were compared and analyzed the last part an overall assessment

## **BÖLÜM 1. GİRİŞ**

Beton agrega (kum, çakıl, kırmataş v.b.), çimento, mineral, kimyasal katkıları ve suyun karıştırılmasıyla meydana gelen bir yapı malzemesidir. Bu malzemeler hesaplanmış belirli oranlarda bir araya getirildiğinde, kalıplarda istenilen biçimi alabilecek plastik bir malzeme elde edilir. Beton yapı endüstrisinde kullanılan diğer malzemelerden farklı ve daha üstün kılan en önemli özelliklerinden biri, istenilen biçimin verilebilmesini sağlayan plastik kıvamıdır. Beton karıştırılıp kalıba döküldükten kısa bir süre sonra prizini alır ve zamanla dayanım kazanır. (Ersoy, 2001)

Betonarme yapıların hesap kıstaslarını belirlemek için çalışmalar yapılmış ve ilk yönetmelikler Almanya'da 1904 yılında ve Fransa'da 1906 yılında yayınlanmıştır (Celep, 2001). Ülkemizde yönetmelik uygulaması Alman Betonarme Yönetmeliği'nin kullanılmasıyla başlar. Türkiye Köprü ve İnşaat Cemiyeti'nin 1953'te hazırladığı yönetmelik, yapılan bazı değişikliklerle birlikte 1953 ve 1962'de tekrar yayınlanmıştır. Türk Standartları Enstitüsü'nün hazırladığı TS 500: Betonarme yapıların Hesap ve Yapım Kuralları yönetmeliği ise 1975 yılından itibaren geçerli olmuştur. Günümüzde geçerli olan ise 2000 yılında son baskısı yayınlanan TS 500-2000 yönetmeliğidir (Celep, 2001). TS 500'e ek olarak Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik de ülkemizde uygulanmaktadır.

Betonun kalitesi için esas alınan ölçüt betonun basınç dayanımıdır. Beton üzerinde yapılmış araştırmalarda, betonun basınç dayanımı ile malzemenin muhtelif özellikleri arasındaki ilişkiler araştırılmış ve betonun diğer mekanik özelliklerinin basınç dayanımı ile aynı eğilimde olduğu gözlemlenmiştir (Erdal, 2002). Bununla birlikte çeşitli çevresel koşullar devreye girdiğinde basınç dayanımının yanı sıra, betonda durabilite kavramı da ön plana çıkmaktadır.

## BÖLÜM 2. BETONU OLUŞTURAN MALZEMELER

### 2.1. Çimento

“Çimento” sözcüğünün kökeni olan “Caementum”u ilk defa Romalı mimar-mühendis Marcus Vitruvius Pollio (M.Ö.1.yy) “De Architectura” adlı eserinde kullanmıştır. Bu eserinde Vitruvius, toz halinde bulunan ve büyük binaların inşasında kullanılan bir malzemedir “Caementum” olarak bahsetmektedir. Latince “bağlayıcı” anlamına gelen bu sözcük diğer dillere Cement (ingilizce), Ciment (Fransızca), Zement (Almanca), Cemento (İtalyanca) olarak geçmiştir. Ortaçağda harç anlamında da kullanılan bu sözcük Farsça’da yine bağlayıcı anlamını taşıyan, Kemend olarak yer almakta ve Türkçe’ye de kement olarak geçmiştir. Türkçe telaffuz benzerliğinden dolayı, İtalyanca “Cemento” sözcüğü çimento olarak kullanılmaktadır (Postacıoğlu, 1986).

Antik çağlarda yapılar topraktan veya kesme taştan inşa edilmişlerdir. Bağlayıcı olarak kullanılan ilk malzemeler sönmüş kireç ve alçıdır. Hititler (M.Ö. 2000-1100) ve Fenikeliler (M.Ö. 3000-60) tarafından sönmüş kireç kullanılmıştır. Büyük olasılıkla bu malzeme daha önceden de biliniyordu. Sönmüş kireç-puzolan karışımı hidrolik bağlayıcıları ilk kullananlar, her ne kadar Romalılar olarak bilirse de, Hititliler ve Giritlilerdir (Postacıoğlu, 1986). Romalılara, kireç-puzolan karışımı hidrolik bağlayıcıyı tanıtanlar büyük olasılıkla Anadolu’dan İtalya’ya göç eden Etrüskler (M.Ö. 700-400) veya Yunanlılardır.

(Postacıoğlu, 1986). Eski Yunanlılar ve Romalılar killi kalkerleri pişirerek su kireci elde ettiler. Aynı zamanda da bazı volkanik formasyonların ince öğütülüp kireç ve kum ile karıştırıldıklarında kireç harcından daha kuvvetli olmakla kalmayıp suya karşıda daha dayanıklı bir malzeme elde edileceğinin bilincine varmışlardır (Roumain, 2000). Eski Mısırlılar (M.Ö. 2000) yıllarında alçıyı bağlayıcı olarak

kullanılmışlardır. Mısır piramitlerinden alınan örnekler incelendiğinde harçların alçıdan yapılmış olduğu görülmüş ve Mısır uygarlığında kireç bazlı harçların ilk defa, Büyük İskender'in Mısır'ı fethinden (M.Ö. 332) sonra Mısır'ın yönetimini bıraktığı komutanı I. Ptolemaios Soter döneminde, Amon surlarının restorasyonunda kullanıldığı saptanmıştır. Ortaçağda, 18. yüzyıla kadar, Avrupa ve Asya'da kireç-puzolan karışımı hiçbir yenilik yapılmadan kullanılmış, hatta kalite olarak da geriye gitmiştir (Postacıoğlu, 1986).

Kullanılan en eski çimento malzemelerinden birisi “mud” dur ki; O, bugün bile dünyanın çeşitli yerlerinde blok ve birimlerin inşaatında bağlanma kapasitesini artırmak için kıyılmış yaprak ve başka bitkisel liflerle birlikte karıştırılarak hazırlanmaktadır (Roumain vd., 2000).

### **2.1.1. Portland çimentosu'nun tarihi**

18. yüzyıla kadar geçen süre içinde bazı tip kireçlerin su içinde sertleşebildikleri görülmüştür. Ancak nedeni anlaşılamamıştır. 1756-1830 yıllarında İngiltere'de John Smeathon ve Joseph Parker adlı mühendisler, fazla kil içeren kalker taşlarından su kireci elde edildiğini ortaya çıkarmışlardır. Bu tip su kireçleri 1800 yıllarında Roma Çimentosu adı altında Fransa ve İngiltere'de üretilmeye başlanmıştır (Baradan, 1994).

Bağlayıcı malzemelerin önemi 18. yüzyılda anlaşılmaya başlanmıştır. Çağdaş çimento kronolojisinin başlangıcı, 1880'li yılların başında Louis Vicat'ın ilk yapay çimentoyu üretmesi ve Joseph Aspdin'in Portland Çimentosu'nun patentini almasıyla başlamıştır (Karakule vd., 2004).

Ömrünü çimento ve hidrolik bağlayıcıların araştırmasına adanmış olan Louis-Joseph Vicat kirecin kil ile beraber pişirilmesi yolu ile hidrolik bağlayıcı yapılabileceğini göstererek çok sayıda puzolan harç karışımının özelliklerine pişirme sıcaklığının, hammadde tipinin, tane boyutu dağılımının vs. etkisini incelemiştir. Aynı kişi harçların mekanik ve jeolojik özelliklerinin incelenebilmesi için laboratuvar aletleri yapmış olup, hidrolik endeks kavramını da ortaya atmıştır (Güvercin, 2002).

Birkaç öncü çalışmanın ardından, Leeds şehrinde bir yapı ustası olan Joseph Aspdin 1824 yılında Portland Çimentosu'nun patentini almıştır (Peray, 1987). Aspdin killi kireç taşlarının kalsinasyonu ile havasız yerde ve su altında çözünmeyen su kirecinden daha üstün özelliklere sahip bir bağlayıcı madde elde edilebildiğini görmüştür. Bu ürüne kum ile su katıldığında ve zamanla sertleşme olması ortaya çıkan malzemenin İngiltere'nin Portland adasından elde edilen yapı taşlarını andırması nedeniyle Portland Çimentosu adı verilmiştir (TÇMB, 1999).

Portland Çimentosu'nun bileşimi ile ilgili ilk sistematik çalışmalar Amerika'da başlamış ve 1906'da termik ve petrolojik metotların uygulanması çimento ile ilgili bilgileri bilimsel temele oturtmuştur (Targan, 2001).

Portland Çimentosu'nun fabrikada üretilmesi çalışmaları ilk olarak İngiltere'de yapılmış ve Swanscombe'da 1825 yılında J.Frost tarafından gerçekleştirilmiştir. Bundan sonra Belçika ve Almanya'da 1855 yılında ilk çimento fabrikaları kurulmuştur. Birleşik Amerika'da ise 1855 yılında ilk çimento fabrikaları kurulmuştur (Kula, 2000). Sonraları hidrolik çimento kullanımı Avrupa ve kuzey Amerika'da hızla yayıldı. Çimento üretiminde kullanılan ekipmanın geliştirilmesine başlandı (Roumain vd., 2000).

1835'de İsaac Charles Johnson pişirme sıcaklığını yükselterek ve öğütmeye daha çok önem vererek bugünkü çimentoyu buldu. Yüksek sıcaklıklarda pişirilmeleri gerektiği için, başlangıçta Portland Çimentoları doğal çimentolardan daha pahalı idiler ve onlarla rekabet edemediler. Ancak 1885'de Frederic Ransome döner fırını bularak bu sorunu çözdü. (Baradan, 1994).

Bu o zamanlar için çimento endüstrisinde önemli bir gelişmeydi ancak gerçekten başarılı işlev gören döner fırın yıllar sonra gerçekleşti. Ransome'nin fırınından sonra bazı Amerikalı mühendisler bu buluşu geliştirmeye devam ettiler. Amerika'da ekonomik olarak çalışan döner fırın Atlas Çimento Şirketi'nden Hurry ve Seaman tarafından geliştirilerek 1895 yılında üretime başladı (Roumain vd., 2000). Bugün su kireci ve doğal çimento çok az üretilmektedir (Baradan, 2004).



Portland Çimentosu'nun üretimi arttıkça hammadde ve çimentolarla ilgili deney yöntemleri ve karakterizasyonlar üzerine çalışmalar başladı. Çok sayıda laboratuvar çalışmasından sonra 1900 lü yılların başında başlıca çimento deneyleri büyük ölçüde standartlaşmış oldu. O zamandan beri bunların bir bölümü gözden geçirilip değiştirildi ve bütün dünyada çimento standartlarıyla yeni deneyler eklendi (Roumanin, vd., 2000).

### 2.1.2. Çimentonun üretimi

Çimento üretimi jeoloji, kimya, fizik, termodinamik, fiziko kimya gibi çok sayıdaki gibi bilim dallarındaki bilgilerin birlikte kullanılması gerekir (Targan, 2001).

Portland Çimentosu, kalker ve kil karışımı hammaddelerin pişirilmeleri ile ortaya çıkan ve "klinker" olarak adlandırılan malzemenin çok az miktarda alçıtaşı ile birlikte öğütülmesi sonunda elde edilen bir üründür; su ile birleştiğinde hidrolitik bağlayıcılık özelliği kazanmaktadır (Erdoğan T, 2003).

Çimentonun ilkel maddeleri kalker (kireç taşı) ve kildir. Çimento yapımında bu maddeler belirli oranlarda karıştırılır ve yüksek sıcaklıklarda pişirilir. Yüksek sıcaklıkta kalkerin ayrışması sonunda CaO, kilin ayrışması sonunda silis (SiO<sub>2</sub>), Alümin (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) ve demir oksit (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) oluşur (Baradan, 1994). Bu maddeler yüksek sıcaklıklarda yine aralarında birleşerek esas bileşimleri olan ve çimentoya bağlayıcı özelliğini kazandıran silikat ve alüminatları oluştururlar (Baradan, 1994). Ana hatları ile üretim aşamaları; "hammadde üretim ve hazırlama prosesi", "pişirme prosesi", "çimento öğütme ve paketleme prosesi" olarak incelenebilir (Nakamora vd., 1986; Sarkar, 1990).

Çimento üretimi enerjinin yoğun tüketildiği bir süreç olup, günümüz teknolojileri ile yapılan üretimlerde 1 ton çimento üretmek için yaklaşık 100 kwh enerji harcanmaktadır (T.Ç.M.B, 1999).

Ülkemizde üretilen çimentoların üretim prosesi genel olarak aşağıdaki şekildedir (Türkiye Çimento Sanayi T.A.Ş., 1973).

- a) Çimento hammaddesi olan kalker, kil (veya marn) hammadde ocağından alınarak kırıcıya gönderilir.
- b) Kırıcıdan geçen hammadde stoklanır.
- c) Stoktan alınan hammadde değirmene gönderilerek öğütülür. Belli oranlarda kil ve kalker karışımından ibaret öğütülmüş hammadde karışımına "Farin" adı verilmektedir.
- d) Farin silolarda depolanır.
- e) Sonra ısı değıştiricilerden geçirilir
- f) Döner fırına verilen Farin 1400 - 1450 °C sıcaklıkta pişirilir. Farinin pişmesi sonucunda elde edilen ürüne "klinker" adı verilir
- g) Fırından çıkan klinker soğutuculardan geçirilir
- h) Soğutulan klinker depolanır.
- i) Klinkere alçitaşı eklenerek çimento değirmeninde öğütülür. Öğütülmüş klinker ve alçitaşı karışımına "çimento" adı verilir.
- j) Çimento pompalanarak silolara doldurulur.
- k) Torbalanarak pazarlanır.

Çimento fabrikalarında klinker üretimi akış şeması Şekil 2.1’ de verilmiştir.

Taş ocağı → Kırıcı → Değirmen → Homojenleştirme

↓

Klinker <-----Soğutucu <-----Döner fırın

Şekil 2.1. Klinker üretimi akım şemasının blok diyagramı (Özmal, 2005)

### 2.1.3. Çimento tipleri

Çimento içindeki ana bileşenleri ( $C_3S$ ,  $C_2S$ ,  $C_3A$  ve  $C_4AF$ ) farklı oranlarda bulundurmak suretiyle çeşitli amaçlara yönelik farklı çimentolar elde edilebilmektedir (Erdoğan T, 1995).

Çimentonun, kullanım amaçlarına ve daha ekonomik olarak üretilmesine yönelik çeşitli tipleri üretilmiştir. Birkaç tipin haricinde katkısız ve katkılı çimento daima Portland Çimentosu klinkeri kullanılmaktadır (Targan, 1998).

Yeni genel çimentolar TS 197-1’de “CEM Çimentosu” olarak adlandırılır. Ayrıca bir klinker standardı olmadığı için klinkerde aranan özelliklerde çimento standardının içine alınmıştır. İlgili tanımlamalar şu şekildedir (Yeniboğalı vd., 2005).

#### 2.1.3.1. CEM çimentosu

Hidrolik sertleşmesi öncelikle kalsiyum silikatların hidrasyonu sonucu meydana gelen ve içindeki reaktif  $CaO$  ve reaktif  $SiO_2$  toplamının kütlece en az % 50 olması gereken çimentodur. Bileşimi portland çimentosu klinkeri, kalsiyum sülfat ve çeşitli mineral katkılardan oluşabilir (Yeniboğalı vd., 2005).

### 2.1.3.2. Portland çimentosu klinkeri

Kalker ve kil gibi hammaddelerin CaO, SiO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> gibi oksitlerini içeren, hassas bir orantı ile birleştirilip ince öğütülmüş karışımının (farinin) döner fırında 1400 - 1500 °C sıcaklıkta sinterleşmesi sonucu elde edilen yaklaşık 1-3 cm çapında granüle malzemedir. Kütlece en az 2/3 oranında kalsiyum silikat içermeli, CaO/SiO<sub>2</sub> oranıtısı 2.0 den az olmamalıdır. Ayrıca MgO içeriği en fazla % 5 olarak sınırlanmaktadır (Yeniboğalı vd., 2005).

TS EN 197-1 standardı genel amaçlı çimentoları (CEM) çimentoları 5 ana tip içerisinde toplamaktadır (Yeniboğalı vd., 2005).

### 2.1.3.3. Ana tipler

CEM I Portland Çimentosu

CEM II Portland Kompoze Çimento

CEM III Portland Yüksek Fırın Curuflu Çimento

CEM IV Puzolanik Çimento

CEM V Kompoze Çimento

## 2.2. Agrega

Mineral kökenli olup boyutları genellikle 100 mm'ye kadar çıkan tanelerden oluşan malzemeye agrega denir. Betonun hacim bazında %60 - %80'ini, ağırlıkça da 4/5'ini agrega oluşturur.

Beton agregası doğal kum ve çakıl karışımlarından, ayrıca yapay kırmataş (mıcır) malzemedен meydana gelir. Doğal agregalar taş ocaklarından, kurak mevsimde dere yataklarından, deniz ve nehir tabanlarından elde edilirler. İstenen agrega boyutlarının elde edilebilmesi için ise büyük taş kütleleri konkasörde kırılırlar. Bu şekilde oluşan köşeli ve pürüzlü yüzeye sahip malzemelere mıcır adı verilir ve mıcır bu özellikleriyle doğal kum ve çakıldan ayrılır. Taze ve sertleşmiş betonun özellikleri, karışım oranları ve maliyet agreganın özelliklerinden önemli derecede etkilenir (Ağar, 1998).

### **2.3. Su**

Beton üretiminde kullanılan suya çok dikkat edilmesi gerekmektedir. Çünkü karma suyunda bulunabilecek eriyik ve askıdaki çeşitli maddeler çimentonun priz sürelerini betonun direncini ve işlenebilme yeteneğini etkilerler ve donatının korozyonuna yol açarlar. Beton karma suyundan istenen en temel özellik içilebilir olmasıdır (Ağar, 1998).

### **2.4. Puzolanlar**

Hammaddeleri değiştirmeden ve alçıtaşından başka katkı kullanmadan farklı özelliklerde Portland çimentoları üretilbileceğini biliyoruz. Bu işlemler sadece hammaddelerin karışım oranları değiştirilerek sağlanmaktadır. Diğer taraftan eski zamanlardan bu yana bağlayıcı malzeme teknolojisinde kullanılan bazı mineraller bu yüzyıl içerisinde Portland Çimentosu içerisinde katkı maddesi olarak yer almaya başlamış, kullanım miktarları artmış ve özellikle endüstriyel türleri çeşitlenmiştir. Mineral katkılı çimentoların bazı türlerinde Portland çimentosu klinkeri azınlıkta kaldığı için bu çimentoların isimlerinden artık “Portland” kelimesinin kullanılmadığı dahi görülmektedir (Yeniboğalı vd., 2001).

#### **2.4.1. Puzolanların tarihi**

Puzolan teriminin iki farklı anlamı vardır. Birincisi Pozzuoli (Napoli) civarında ve İtalya'nın diğer yörelerinde rastlanan camsı içeriği fazla olan piroklastik bir kayacı

ifade eder. Diğer anlamı ise doğal ve yapay olup, su ve sönmüş kireçle veya portland çimentosu klinkeri gibi kalsiyum hidroksiti serbest bırakabilen maddelerle karıştırıldıklarında sertleşen bütün inorganik maddeleri içerir. Yeraltı suyunun tabanında bulunan puzolanların kullanılması Romalılara kadar uzanmaktadır. Bugünkü İtalya'da Vezüv yanardağ eteklerinde bulunan Puzzoli kasabasında, volkanik küllerin su ile söndürülmüş kireç ile karıştırıldığında hidrolik bağlayıcı malzeme oluşturduğu fark edilmiştir (D.P.T, 1986). Napoli puzolanlarının bağlayıcı özelliğini keşfeden Romalılar, bunu kireç ile yapılan harca ilave ederek kullanmışlardır. Yapımında bağlayıcı olarak tras kullanılan birçok tarihi yapı hala hizmet vermektedir. Bunlardan bazıları, Romalılar tarafından 2000 yıl önce tras ve kireç karışımının çimento yani bağlayıcı olarak kullanılması ile yapılmış olan Rihine Nehri boyundaki su kanalı, 1910-1920 tarihleri arasında İdoha'da inşa edilen Arrowrock Barajı, New Mexico'da San Fransisko Bay Köprüsü, Oregon'da Bonneville Barajı, Los Angeles'da su kanalı, Neuwied Ren Köprüsünün ayakları, Agger Barajı, Saldenbach Barajı şeklinde sıralanabilir. Bilim adamlarının Türkiye'de Çatalhöyük'deki eski yapılar üzerinde yaptıkları incelemelerde, bu yapılarda kullanılan harcın 8000 yıl eski olduğu ortaya çıkmıştır.

Bilindiği gibi, sadece kireç veya alçıdan elde edilen bağlayıcılar özellikle sulu ortam koşullarına karşı dayanıklı değildirler ve bu bağlayıcıların bu kadar uzun süre dayanıklılık göstermeleri mümkün değildir. O nedenle, 800 yıl eskilikteki harcın muhtemelen puzolanik malzemelerle yapıldığı anlaşılmaktadır. Bir başka deyişle, Romalılardan çok uzun yıllar önce de (bu malzemenin puzolan olarak adlandırılmasından çok önce de), puzolanik malzemeler eski insanlar tarafından bir şekilde kullanım bulmuşlardır (Erdoğan T, 2003).

Öğütülmüş tuğlanın (pişirilmiş kilin) ve kirecin suyla karılması sonucu elde edilen bağlayıcılar da çok eski zamanlarda, yaygın olarak kullanılmışlardır. Bu malzemelerden yapılan harçlar, Hindistan'da "surkhi", Mısır'da "Homra" adıyla anılmışlardır (Ramachandran, 1995).

Osmanlılar dönemindeki Türkler tarafından yapılan çok önemli eserlerde de kullanılan bu harç, "horosan harcı" olarak adlandırılmıştır (Erdoğan T, 2003).

### 2.4.2. Puzolanik reaksiyon ürünleri

Kireç-puzolan tepkimesi puzolan tipinden bağımsız olarak, Portland Çimentosu'nun hidrate olmasıyla ortaya çıkan ürünlerle genel olarak aynı ürünleri verir. Olası farklılıklar küçüktür ve hidratasyon ürünlerinin yapısından çok miktarını etkiler (Hewlett, 1998; Targan, 2001).

Kireç-doğal puzolan tepkimesi sonucunda literatürde aşağıda sıralanmış ürünler oluştuğu yönünde ortak bir görüş vardır (Targan, 2001).

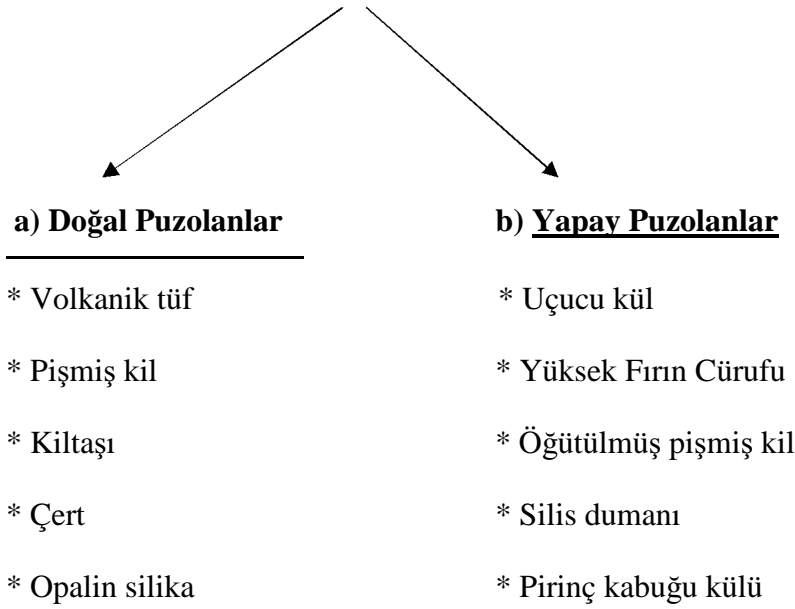
- 1- C-S-H formunda kalsiyum silikat hidrat
- 2-  $C_4AH_x$  formunda kalsiyum alüminat hidrat ( $9 \leq x \leq 13$ )
- 3- Hidrat gehlenit- $C_2ASH_8$
- 4- Kalsiyumkarboalüminat - $C_3A \cdot CaCO_3 \cdot H_{12}$
- 5- Etringit- $C_3A \cdot CaSO_4 \cdot H_{32}$
- 6- Kalsiyum alüminat monosülfat- $C_3A \cdot CaSO_4 \cdot H_{12}$

Bu ürünlerin varlığı esas olarak doğal puzolanın kimyasal içeriğine, ortamda kirecin varlığına ve çevre şartlarına bağlıdır. Bilindiği gibi doğal puzolanlar, silikanın baskın olduğu kompozisyonlardan, alüminyumun baskın olduğu kompozisyonlara kadar geniş bir yayılım göstermektedirler. Bu sebeple her doğal puzolanın kireçle tepkimesi aynı ürünleri açığa çıkarmaz (Targan, 2001).

### 2.4.3. Puzolanların sınıflandırılması

Puzolanlar doğal ve yapay olmak üzere iki ayrı sınıfta incelenirler. Aşağıda puzolanlar şematik olarak gösterilmiştir (Onat, 1998).

## Puzolanlar



Şekil 2.2. Puzolanların sınıflandırılması ve türleri

Puzolanların ana bileşeni silistir. Puzolanların içinde bulunan silis ve alüminin kireçle yapmış olduğu reaksiyon sonucunda puzolan bağlayıcılık özelliği kazanmaktadır. Bir puzolanla Portland Çimentosu karıştırıldığı vakit çimentonun hidratasyonu sonucunda meydana gelen  $\text{Ca(OH)}_2$  ile  $\text{SiO}_2$  ve  $\text{Al}_2\text{O}_3$  arasında reaksiyon sonucunda puzolan yine bağlayıcılık özelliğine sahip olur (Onat, 1998).

### 2.5. Yapay Puzolanlar

Çeşitli fabrikalardan ve endüstriyel proseslerden yan ürün olarak ortaya çıkan ve şu an atık olarak kabul edilen, yine aynı şekilde yalnız başına kullanıldığı zaman bağlayıcı madde olmayan, fakat kireç veya çimento ile karıştırıldığı zaman su ile yaptığı reaksiyon sonucunda bağlayıcı özelliğini kazanan silis veya silis-alümin içeren maddelerdir. Yapay puzolanlardan uçucu kül ve Y.F.C.'lerinin özelliklerine ayrıntılı olarak ileride değinilecektir.

Bir Portland Çimentosu'na puzolan karıştırıldığı zaman çimentonun hidratasyonu



sonunda meydana gelen  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  ile puzolan içinde bulunan  $\text{SiO}_2$  ve  $\text{Al}_2\text{O}_3$  arasında meydana gelen reaksiyonlar puzolana bağlayıcılık özelliği kazandırmaktadır (Şensöz vd, 2000).

Harçlar, doğal puzolan betonları ve kireç son yüzyılın sonlarına kadar her zaman kullanılmış, kimyasal etkilere özellikle deniz suyu etkisine karşı koyabilen malzemelere başvurmak gerekli olmuştur. Puzolanik harçların ve betonların kullanımı ve önemi, Portland Çimentolarının başarılı uygulanabilirlik, hızlı sertleşme ve mekanik dayanımının gelişmesine sahip olması nedeniyle bir süre düşüş göstermiştir. Portland Çimentosu' nun puzolanlı kireç karışımına ilave edilmesiyle dayanım önemli ölçüde geliştiği halde bu düşüş süresi kısa olmuştur (Saygılı, 2000; Targan, 2001; Şensöz vd., 2000).

İyi puzolanlara sahip olan ülkelerde puzolanlı çimentolar, Portland Çimentolarıyla mukayese edildiklerinde geliştirilmiş dayanıklılıkları nedeniyle hızlı bir yayılış göstermişlerdir. Bu çimentolar ile yapılmış denizle ilgili yapılar, su kuvvetiyle işleyen yapılar ve yeraltı yapılarının 80 yıldan daha fazla bir zamanda serviste kalmasıyla geçerliliği onaylanmış ve doğrulanmıştır (Saygılı, 2000).

Isı gelişiminin düşük olması nedeniyle puzolanik çimentolar geniş kütleli beton kalıplarında büyük ölçülerde kullanılmışlardır. Yakın zamanlarda Amerika Birleşik Devletlerinde puzolanik çimentoların, alkali-agrega reaksiyonunun neden olduğu genleşmeyi önlemek için kullanılabileceği bulunmuştur (Saygılı, 2000).

Eğer puzolan miktarı kalsiyum silikatların hidratasyonu sırasında oluşan kirecin tamamını sabit tutmaya yeterli ise puzolanik çimentolar, yeterli değilse puzolanlı çimentolar elde edilir. Puzolanik çimentolar alışlagelmiş karakteristikleri nedeniyle puzolanlı çimentolara oranla daha çok miktarlarda elde edilirler (Saygılı, 2000; Massazza, 1999).

### 2.5.1. Uçucu kül

Uçucu kül terimi 1930'lu yıllarda elektrik gücüne dayalı endüstrinin gelişmesi ile yayılmaya başladı. Uçucu külün betonda kullanımı ile ilgili ilk kapsamlı bilgi 1937 yılında Kuzey Amerika'da Davis tarafından hazırlandı. 1970'li yıllarda enerji maliyetindeki hızlı artışa paralel olarak çimentonun da önemli derecede pahalalanmasıyla uçucu kül dünya genelinde kabul görmeye başladı (Gökçe, 1995).

Termik santrallerde pulvarize kömürün yanması sonucu üç atık malzeme meydana gelir. Bunlardan birincisi taban külü, ikincisi bacadan çıkan duman içindeki çok ince zerrecikler halinde bulunan ve atık malzemelerin % 75-80'ini oluşturan uçucu kül, üçüncüsü ise kazanın dibinde oluşan ve kazan külü olarak da adlandırılan taban külüdür (Özdemir, 2001). Uçucu kül baca gazları ile taşınarak siklon veya elektro filtrelerde toplanan önemli bir yan üründür. Kömürün yüksek sıcaklıklarda yanması sonucu meydana gelen ergimiş malzeme soğuyarak, gaz akışı ile kısmen veya tamamen üresel şekilli kül taneciklerine dönüşmektedir. Bu kül tanecikleri çok ince (0.5-150 mikron) olup baca gazları ile sürüklenmeleri nedeniyle, "uçucu kül" olarak adlandırılmaktadır (Türker vd., 2004).

Uçucu külde bulunan başlıca bileşenler  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , ve  $\text{CaO}$  olup, bunların miktarları uçucu külün tipine göre değişmektedir. Ayrıca  $\text{MgO}$ ,  $\text{SO}_3$ , alkali oksitlerde minör bileşen olarak bulunmaktadır. Uçucu küldeki temel oksitlerden  $\text{SiO}_2$  % 25-60,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  % 10-30,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  % 1-15 ve  $\text{CaO}$  % 1-40 oranlarında bulunmaktadır. Bu farklı aralıklardaki değerler uçucu külün tipini karakterize etmektedir (Türker vd., 2004).

TS 639'a göre uçucu kül, toz halinde veya öğütülmüş taş kömürü veya linyit kömürünün yüksek sıcaklıklarda yanması sonucunda oluşan ve baca gazları ile sürüklenen, silis ve alümino- silisli toz halinde bir yanma kalıntısı olarak tanımlanır (Güvercin, 2002). Uçucu kül renk olarak çimento tozundan farklı değildir ve rengi krem renginden koyu griye doğru değişir (Cripvwell, 1992).

Uçucu küllerin ekonomik olarak değerlendirilmesi, kullanılan miktara gerekli nakliye miktarına ve istenilen tasarıma bağlıdır. Dünyadaki uçucu kül üretimi yıllık 450

milyon tondur. Ancak bunun sadece % 6'sı çimento ve beton endüstrisinde kullanılmaktadır. Türkiye'deki yıllık uçucu kül üretimi ise yıllık yaklaşık 15 milyon tondur ancak endüstride kullanımı düşüktür. Bunun iki sebebi vardır. Birincisi yetersiz bilgi, ikincisi ise uçucu kül özelliklerinin her zaman üniform olmayışıdır (Şengül vd, 2002).

Her şeye rağmen uçucu külün ham bileşen olarak kullanımında problemler vardır. Uçucu külün plastik özelliklerinin eksikliği nedeniyle, yaş proses sistemlerde karbon partiküllerinin yüzey üzerinde yüzmesine sebep olacak şekilde farin çamurunun diferansiyel çökmesi ve ayrılması olasılığı vardır. Ön ısıtıcı sistemleri ihtiva eden kuru proses sistemlerde uçucu kül kullanımı sülfat ve alkalilerin uçucu hale geçmesine ve lokal olarak aşırı ısıtma problemlerine yol açar ve malzeme akışını güçleştirir.

### **2.5.2. Granüle yüksek fırın cürufu**

Demir cevherleri doğada esas olarak içerdikleri demir oksit bileşenlerinin yanı sıra silis, alümin, kükürt, fosfor ve mangan gibi bazı yabancı maddelerle bir arada bulunmaktadır (Onat, 1998).

Yüksek fırın cürufu demir sanayinin bir yan ürünüdür ve kalkerin, kok dan gelen kül ve cevherden demirin ayrılması ve indirgenmesinden sonra geri kalan silisli ve alüminyumlu atık ile ergitilmesinin sonucunda oluşmaktadır (Witold (Çeviren Katnaş), 1992).

Fırındaki yüksek sıcaklık nedeniyle eriyik hale gelen ve CaO, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> gibi oksitleri içeren curuf, ani olarak (suda) soğutulduğu takdirde, gri kum parçacıkları boyutunda amorf yapıya sahip granüle bir durum kazanmaktadır (Erdoğan T, 2003).

Yüksek fırında pik demir elde edilirken demir cevheri içindeki SiO<sub>2</sub> ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeren gayri saflıklar yumuşatıcı olarak katılan kalkerdeki CaO tarafından bağlanır. Bu şekilde oluşan curufun bileşimi portland çimentosuna büyük benzerlik gösterir. Fırın

çıkışında hızla soğutulması ve en az 2/3 oranında camsı faz içermesi gerekir. Ayrıca içindeki CaO, MgO ve SiO<sub>2</sub> miktarları toplamı gene en az 2/ 3 oranında olmalıdır. CaO + MgO/SiO<sub>2</sub> orantısının ise 1 den fazla olması istenmektedir (Yeniboğalı vd., 2005). Türkiye’de demir-çelik üretimi esnasında elde edilen atık Y.F.C. miktarı yaklaşık olarak 690.000 ton/yıldır.

Yüksek fırın cürufu bağlayıcı ve puzolanik özelliğinden dolayı betonda en fazla kullanılan atık malzemeler arasındadır. 1862 yılında Langens’in Y.F.C.’lerin bağlayıcı özelliklere sahip olduğu gözleminin ardından 1865 yılında ilk kez Y.F.C. kireç karışımından elde edilen bağlayıcılar ticari olarak üretilmeye başlamıştır. Y.F.C.’nin çimento hammaddesi olarak kullanımı ise ilk kez 1883 yılındadır. Portland çimentosu klinkerinin G.Y.F.C. ile birlikte öğütülerek Portland Yüksek Fırın Cürufu çimentosunun üretimi de 1892 yılında Almanya’da başlamıştır (Tokyay vd., 2003).

## **2.6. Puzolan İçeren Çimentoların Özellikleri**

Puzolanlar klinker hidrasyonu sonucu oluşan kireç ile yavaşça reaksiyona girerler. Diğer bir deyişle uygun miktarda puzolan klinker hidrasyonu ilerlediği zaman reaksiyona girerler. Buna bağlı olarak puzolan-kalsiyum hidroksit reaksiyonunun ürünleri klinkerin hidrasyonu sırasında oluşan boşlukları doldurur. Bu geçirgenlikte bir azalmaya neden olur, fakat aynı zamanda puzolanik reaksiyonların gelişimini yavaşlatır. Hem doğal, hem de yapay puzolan içeren çimentolarda oluşan bileşenlerin farklı oranlarda olmalarına rağmen portland çimentosu hidrasyonundakilerle oluşum olarak aynı olduğu söylenebilir (Saygılı, 2000; Targan, 2001; Aslan; 1998; Kaplan vd., 1996).

### 2.6.1. Prizlenme zamanı

Puzolanların varlığı, çok çabuk tepkimeye giren klinkerin standart tutarlılığının meydana gelmesi için gerekli su miktarından daha fazla kullanılmasına bağlı olarak çimentonun priz alma süresinde bir gecikmeye neden olur.

Puzolan içeren çimentolar ile Portland Çimentoları'nın prizlenme zamanları arasında çok fazla bir fark yoktur. Doğal puzolan içeren 42,5 sınıfı çimentolar diğerleri ile mukayese edildiklerinde ilk ve son prizlenme zamanları daha az geçirirken, uçucu kül içeren 32,5 sınıfı çimentoların ilk ve son prizlenme zamanları çimentonun tipi ve sınıfına göre değişiklikler gösterir. Priz esnasında ısı neşretmemesi, çimentonun içerisinde mevcut olan ve zamanla artan serbest kirecin tras içindeki aktif silis ve alüminle birleşerek daha mukavim plastik beton elde edilmesi gibi nedenlerden dolayı özellikle kitle betonlarında puzolanlı çimentolar tercih edilir (Saygılı, 2000; Kaplan vd., 1999).

### 2.6.2. Dayanım

Genelde puzolanların Portland Çimentolarına ilavesi erken dönemlerde betonun dayanımını düşürür. İlave edilen puzolanın tip ve miktarına bağlı olarak son dayanımları Portland Çimentosu'nun son dayanımlarını aşabilir. Özellikle 90 gün sonraki dayanımlarında bu durum daha fazla fark edilir. Dayanım artışı bir seneden sonra da devam etmektedir. Puzolanların miktarları belli miktarları aştığı zaman dayanım değerleri hızla düşmektedir. Çünkü tam bir reaksiyon için kireç miktarının yetersiz olması nedeniyle puzolanların fazlası sertleşmeye katkıda bulunmaz. (Saygılı, 2000; Targan, 2001; Erdoğan vd., 1999).

Puzolanların dayanımı artırması; çimentonun hidrasyonu ile oluşan ve dayanıma katkısı son derece az olan  $\text{Ca(OH)}_2$  ile reaksiyona girerek çimentolaşabilen malzeme miktarının artması nedeniyledir (Aslan, 1998; Erdoğan vd., 1999).

Puzolanlı çimentolar genellikle betonun kimyasal etkilere karşı direncini artırır,

ancak fiziksel etkilere karşı olan direncini fazla değiştirmezler. Puzolanlı imento hamurlarının Portland imentosu'na oranla kimyasal etkilere karşı daha dayanıklı oluşları; (Massazza, 1999).

1. Daha dūřuk portland içerikleri
  2. Daha dūřuk geçirgenlikleri
- ile açıklanabilir.

Çimento hamurundaki serbest kireç miktarı klinker hidratasyonu sonucu kalsiyum hidroksit oluşması ile puzolanik reaksiyon sonucu kirecin bağlanması arasındaki yarışa bağlıdır.

Tanımlama gereği, hidrate olmuş puzolanik imento sistemlerinde kalsiyum hidroksitin sıfır veya sıfıra çok yakın olması gerekir. Ancak, bu sonuca ulaşılması çok uzun zaman alır. Bu nedenle puzolan/Portland imentosu oranı çok būyūk olsa dahi betonda her zaman serbest kireç bulunur (Massazza, 1999).

### **2.6.3. Geçirimsizlik ve gōzeneklilik**

Puzolanların beton geçirimsizlięine de olumlu katkıları vardır. Bařlangıçta Portland imentosu hamuru ile kıyaslandığında puzolanlı imento hamurlarında geçirgenlik ve su emme bařlangıçta daha fazladır ancak kūr sūresi uzadıkça daha az olma eęilimi gōrūlūr (Massazza, 1999).

Puzolanlı imentodan beton hazırlandığında çok sıkı bir yapı oluşturan C-S-H bileşiği oluşmakta, bu bōylece porları doldurarak iini bloke etmekte ve betonun geirimsizliliğini azaltmaktadır. Bu sayede sıkı beton teşkil ettiğinden demire nūfuz ederek korozyona sebep olan suyu geçirmez. Dolayısıyla, su altı inşaatlarında liman, kōprū ayağı ve sulama kanalı inşaatlarında tercihen rahatlıkla kullanılabilir (Aslan, 1998).Yapılan bir araştırmada elde edilen veriler aşağıdaki çizelgede ۆzetlenmiřtir (Massazza,1999).

#### 2.6.4. Hidratasyon'a etkisi

Esas olarak, kireç-doğal puzolan karışımlarından oluşan tepkimeler Portland Çimentosu-doğal puzolan karışımlarında da olur. Fakat Portland Çimentosu-doğal puzolan karışımlarında doğal puzolanın tepkime verebilmesi için gerekli kireç, suyla karıştırıldığı ilk anda ortamda yoktur. Zamanla Portland Çimentosu'ndaki  $C_3S$  ve  $C_2S$  minerallerinin hidratasyonu ile ortama  $Ca(OH)_2$  birikir ve tras puzolanik tepkimelerinin sonucunda C-S-H jelleri vermeye başlar.

Puzolanlar ve pek çok durumda klinker minerallerinin hidratasyonunu hızlandırır. Çimentonun hidratasyonu esnasında iki rakip reaksiyon meydana gelir; bunlardan biri kalsiyum hidroksit miktarının artışına, diğeri ise azalmasına yol açar. Bu reaksiyonlar hidratasyonun farklı kademelerinde farklı bir hızla ilerler. Böylece, katkılar tarafından bağlanan kalsiyum hidroksit miktarı ile puzolanik aktivite tayini metotları katkı kalitelerinin belirsiz karakteristiklerini sağlar. Bu nedenle, sertleşmiş çimentoda yeniden oluşan diğer hidratasyon ürünlerinin miktarlarının da ayrı ve tayin edilmesi gerekir

Sertleşmiş harç özelliklerinin doğrudan, katkıya bağlanan kalsiyum hidroksit miktarına bağlı olmadığı bilinmektedir. Örneğin, dayanım hidratasyon ürünlerinin ve porların dağılımı, büyüklüğü, şekli ve tipinden kuvvetlice etkilenir ve dayanım ile kimyasal reaksiyonun tamamlanma derecesi arasında doğrudan bir ilişki yoktur. Bundan dolayı, mekanik dayanım testleri ve yapısal incelemeler puzolanik aktivitenin belirlenmesi için kimyasal metotlarla bütünlenmelidir (Lilkov vd., 1996).

Çeşitli doğal puzolanlarla yapılan araştırmalara göre doğal puzolanlı çimentolarda bulunan Portland Çimentosu kısmının hidratasyonu trasın etkisiyle hızlanır. Bu durum genel olarak tüm ince öğütülmüş puzolanlar için geçerlidir. Doğal puzolan parçacıklarının, yüksek incelikleri nedeniyle, ortamda hidratasyon ürünü olan C-S-H jellerinin toplanabileceği bir yüzey oluşturmasıyla puzolanlı çimentoların hidratasyon hızları katkısız olanlara göre genelde daha fazladır (Targan, 2001).

### **2.6.5. Alkali - silika reaksiyonuna (ASR) dayanıklılık**

Reaktif silika içeren agregalarla çimentonun alkalileri arasında yer alan reaksiyonlar sonucunda, sertleşmiş betonun içerisinde oluşan alkali silika jelleri çok büyük genleşmelere yol açmaktadır.

Daha az miktarda çimento ve dolayısıyla daha az miktarda alkali içeren puzolanik betonlarda, alkali- silika reaksiyonları daha az yer almaktadır (Erdoğan T, 2003).

Çünkü suda çözünebilen alkaliler, genleşmeyen C-S-H bileşimini oluşturmakta, ayrıca por çözültisinde pH'ı düşürmekte ve sonunda alkali silikattan meydana gelen genleşmeler olmamaktadır (Aslan, 1998).

Puzolanik aktivite deneyini sağlamaları koşulu ile çimentoya % 30-40 oranlarında katılacak doğal puzolan veya uçucu kül ile genleşme önlenebilecektir. Çoğu puzolanın yüksek alkali içeriği betondaki toplam alkali içeriğinin artmasına rağmen genleşmede azalma olur.

### **2.7. Betonda Kullanılan Kimyasal Katkılar**

Kimyasal katkı betonun birtakım özelliklerini iyileştirmek amacıyla beton içerisindeki çimento miktarı baz alınarak belirli oranda katılan organik veya inorganik kökenli kimyasal katkı maddesi olarak adlandırılırlar. Katkı maddeleri çoğunlukla betonun karışım suyuna katılır ve çimento ağırlığının %5' inden az olurlar. Gereğinden fazla kullanıldığında aksi etkiler oluşturabileceği gibi, yine gereğinden az kullanıldığı takdirde hiçbir faydası olmayabilir. Ancak şunun iyi bilinmesi gerekir ki; kurallara uygun üretilmeyen bir betonun özelliklerini katkı maddelerini iyileştirmek mümkün değildir. Kurallarına uygun üretilen betonların da katkı maddeleri ile uyumu önceden yapılan deneylerle belirlenmelidir. Kimyasal katkı maddelerinin kullanılması beton üretimi için zorunluluk taşımaz.

Deneyimde kullandığım kimyasal katkı maddesi aşağıda belirtildiği açıkladım.



### 2.7.1. Süper akışkanlaştırıcılar

Süper akışkanlaştırıcılar taze betonun işlenebilirliğini son derece arttırlar. Katkı oranı arttırılarak 0-2 cm çökme veren bir betonu 22 cm çökmeli yapmak mümkündür. 0,5 değerinde su/çimento oranı ile belli bir işlenebilme sağlayan bir betonu bu katkılarla aynı işlenebilmeye sahip fakat su/çimento oranını 0,35 olan bir betona dönüştürmek mümkündür. Şu halde süper akışkanlaştırıcı katkıları mantıksal olarak aşağıdaki üç amaç için kullanmak mümkündür:

- 1- İstenen işlenebilmeye sahip, fakat su-çimento oranı düşük betonlar üretmek mekanik mukavemeti yükseltmek. Bu yolla mukavemet %60 oranında arttırılabilmektedir.
- 2- Su-çimento oranını sabit tutarak taze betonun işlenebilme özelliğini arttırmak, akıcı kıvamda ancak yeterli mukavemeti sağlayan beton üretmek.
- 3- İstenilen işlenebilme özelliğine sahip, su-çimento oranı ise çimento dozajı düşürülerek sabit tutulan betonlar üretmek. Bu yolla çimentodan ekonomi sağlanmış olacaktır. Ancak bu son uygulamayı betonun durabilitesi açısından ihtiyatla karşılamak gerekir.

Süper akışkanlaştırıcıların en önemli sorunların biri zaman geçtikçe bunların taze betondaki etkilerinin kaybolmasıdır. Buna çökme kaybı (slump loss) adı verilmektedir. Yarım saat ile bir saat geçtikten sonra katkının sağladığı yarar yani çökme artışı sifira inmektedir. Süper akışkanlaştırıcı betonların erken yaşlardaki mukavemetleri de yüksek olabilmektedir. Bu betonlar özellikle pompa betonlarında kullanılmaktadır.

## **BÖLÜM 3. DURABİLİTE**

### **3.1. Durabilite Nedir**

Yapı malzemelerinin ve yapıların işlevlerini uzun yıllar boyu bozulmadan yerine getirebilmelerine dayanıklılık, kalıcılık veya durabilite denir.

### **3.2. Durabiliteyi Etkileyen Faktörler**

#### **3.2.1. Fiziksel-mekanik faktörler**

Betonun bozulmasına neden olan fiziksel etkenler iki grupta toplanabilir; yüzey aşınması nedeniyle betonda kütle kaybına neden olanlar ve betonda çatlama gibi hasarlara yol açanlar.

#### **Kütle Kaybına Yol Açanlar**

- Aşınma
- Erozyon
- Kavitasyon (oyulma)

#### **Çatlamaya Yol Açanlar**

- Islanma- Kuruma
- Donma-Çözülme
- Boy ve Hacim Değişimleri
- Yüksek Sıcaklıklar ve Yangın
- Aşırı Yükleme
- Tekrarlı Yükleme Sonucu Yorulma

Aşınma, beton yüzeylerin kuru sürtünme etkisi ile zamanla artan kütle kaybıdır. Yaya ve araç trafiği, iş makinası paletleri veya ağır cisimlerin sürtünmesi bu tür bozulmalara neden olur.

Erozyon ise içinde askı halinde parçacıklar bulunan sıvıların özellikle yüksek hızlarda beton yüzeyini çizerek aşındırmasıdır. Bu olaya daha çok su yapılarında ve beton borularda rastlanır. Etkinin şiddeti katı tanelerin miktarı, şekli, sertliği ve suyun akış hızına bağlıdır.

Kavitasyon, su yapılarında rastlanan oyulma olayıdır. Suyun hızla aktığı borularda şekil değişikliği olan yerlerde düşük basınç bölgesi oluşur. Bu bölgelerde içi hava dolu kabarcıklar oluşur. Bu kabarcıklar suyun statik basıncının yüksek olduğu bölgelerde yoğunlaşarak su damlacıkları şeklinde yoğunlaşıp aniden dibe çöker.

Yüksek sıcaklık etkisi, yüksek sıcaklık altındaki beton belirli bir süre için önemli bir zarar görmez, gaz veya duman çıkarmaz

Tarih boyunca yangınlar önemli can ve mal kayıplarına yol açan büyük felaketlerdir. Beton ve çelik yangınlık açısından yapılan sınıflandırılmalarda A1 sınıfı hiç yanmaz malzemeler grubuna girerler. Ancak bunlar alev alıp yanmasalar da yangın esnasında işlevlerini yitirirler. 11 Eylül faciası buna örnektir.

Malzemelerin işlevini kaybetmesindeki en önemli sebep ulaşılan sıcaklık ve bu sıcaklığa maruz kalma süresidir. Genelde beton belirli sıcaklık derecelerine (~250 C) belirli sürelerde dayanabilmektedir. Yapı elemanlarının yüksek sıcaklığa dayanıklılığında pas payı kalınlığı, alevin içeriye sızmasına karşı direnci önemli rol oynar. Sıva olarak alçı sıva klasik kireçli sıvaya oranla yangına karşı daha dirençlidir.

Yangın sonrası betonun rengi pembeyi aşan tonlarda ise beton dikkatle incelenmelidir. Griyi aşan kül renklerinde ise beton iflas etmiştir.

Doğrudan yangın etkisinde kalan çelik donatı çevresinde ayrılmış ince beyazımsı bir tabaka görülür. Bu nedenle beton pas payı tabakasının, sıva ve izolasyon malzemelerinin kalınlığının ve kalitesinin, çeliği yeterli süre yüksek sıcaklık etkisinden koruyacak şekilde seçilmesi gereklidir.

### 3.2.2. Kimyasal faktörler

Betonda ortaya çıkan zararlı kimyasal reaksiyonlar kendini, betonun gözenekliliğinin ve geçirimsizliğinin artması, çatlamlar, dökülmeler, kapak atmalar ve betonun yumuşaması dayanımını ve rijitliğini kaybetmesi şeklinde gösterir.

Zararlı maddeler betonun kendi bünyesinden de kaynaklanabilir. Bu durumda dahi zararlı maddeler reaksiyona girecekleri yere taşınır Madde transferi olmadığı takdirde zararlı reaksiyonlar gelişmez.

En büyük taşıyıcı su ve su buharıdır.

En çok karşılaşılan kimyasal saldırılar sülfat, asit ve alkali saldırılarıdır.

Kimyasal reaksiyonlar üç grupta toplanırlar

1- Grup: düşük sertlikteki suların çimento hidrate bileşenlerini çözmesi ve yıkayarak beton bünyesinden uzaklaştırmasıdır.

2-Grup : agresif sıvıların hidrate çimento bileşenlerini çözmesidir.

3-Grup: genleşen ürünler oluşturarak betonda hasar yol açan reaksiyonlar.

- Sülfat saldırısı

- Zemin suyu ve torakta bulunan sülfat yoğunluklarının betona etkisi

- Alkali etkisi

- Alkali karbonat reaksiyonu

### 3.2.3. Biyolojik faktörler

Suya ilerleyen bitki kökleri betona oldukça ciddi ölçüde zarar verir.

Çiçeklenme; Beton veya sıva yüzeylerde meydana gelen beyaz lekelerdir. Çimento harcındaki kreçli bileşenlerin çözünüp dışarıya çıkması ve yüzeyde kristallenip birikmesiyle oluşur.

### 3.3. Durabiliteyi Arttıran Faktörler

Betonarme yapıda durabiliteyi arttırmanın en temel yolu betondaki geçirimsizliliği arttırmaktır. Buda kapiler boşlukları azaltmak veya izole etmek ile olur.

Betonda aşınma dayanımını arttıran faktörler aşağıda sıralanmıştır.

- Taze betonda segregasyon olayının önlenmesi
- Taze betonda terleme olayının engellenmesi
- En düşük su çimento oranının kullanılması
- İri agreganın darbe etkisi ile harçtan sıyrılmasını, kopmasını önlemek üzere ince agrega-çimento temas yüzeyinin kuvvetli olmasını sağlayacak önlemlerin alınması
- Beton yüzeyinin perdah işleminin zamanında ve düzgün yapılması
- Kür işleminin eksiksiz ve zamanında yapılması
- Yüzey bölgesinde aşınmaya dayanıklı özel agrega kullanılması
- Yüzeyin sürtünme katsayısını azaltıcı veya sertleştiricili katkı malzemesinin kullanılması
- Polimer emdirilmiş beton kullanılması
- Vakumlu beton üretilmesi
- Perdahlamanın zamanında, düzgün ve az su kullanılarak yapılması,
- Yeterli pas payı bırakılmalı
- Hava sürükleyici katkıları kullanılarak beton içinde bağımsız boşluklar oluşturmak

### 3.4. Donma-Çözünme Olayı

Boşluklu bir cisimdeki boşluklarda bulunan suyun, sıcaklık derecesinin sıfırın altına düşmesi sonunda, donması cisimlerin mukavemetinin azalmasına ve hatta parçalanmasına yol açabilir. Böyle bir sonuç suyun donması sonunda hacminin artmasından ileri gelmektedir. +4 °C de suyun donması sonunda her üç doğrultuda boyut (a) kadar artıyorsa, buzun yoğunluğu 0,92 olduğuna göre, şu denklemi yazabiliriz.

formül -1

$$0.92(a+1)^3 = 1,0 \rightarrow (a+1)^3 = 1/0,92 = 1,087$$

elde edilir ki bu suyun donması sonunda hacminden % 8,7 değerinde bir artış meydana geldiğini gösterir. Başka bir deyişle suyun donması % 2,8 oranında birim uzama meydana getirmektedir.

Donma esnasında cisimde çekme gerilmeleri olurken, buz da basınç gerilmelerinin etkisi altında bulunur. Eğer buzda meydana gelen basınç gerilmesi buzun basınç mukavemetinden küçük ise donma olayının zararlı etkisi kendini belli edecektir. Bunun aksi yani basınç gerilmesinin buzun basınç mukavemetine eşit olması veya onu geçmesi halinde ise buz kırılarak tekrar su haline geçeceğinden donmadan zarar görme tehlikesi ortadan kalkacaktır. Buzun basınç mukavemeti sıcaklık derecesi düştükçe büyük değerler almaktadır.

Suyun bu şekilde zararlı bir etki meydana getirebilmesi için miktarının belirli bir değerden büyük olması lâzımdır.  $V_b$  cismin içindeki tüm boşlukların hacmi ise, 1 den küçük bir katsayı olmak üzere, boşlukların tamamen su ile dolmaması halinde su miktarıdır. Suyun donması halinde meydana gelen buz hacmi (formül-1) e göre dır.

Eğer bu değer  $V_b$  den küçük ise hacim artışı su ile dolu olmayan boşluk tarafından karşılanacaktır. Buna mukabil ( $V_b \times a \times 1.087$ ) değeri  $V_b$  ye eşit veya bundan büyük ise boşluk hacim artışı karşılayamadığından zararlı etki kendini gösterecektir. Buradan zararlı etkiyi başlatan  $a$ 'nın kritik değeri olan  $a_k$  veren şu denklemin yazılabileceği kolaylıkla anlaşılır.

$$V_b \times a_k \times 1.087 = V_b$$

Buradan  $a_k = 0.919$  bulunur. Eğer  $a_k < 0.919$  ise donmanın zararlı etkisi yok  $\geq 0.919$  olması halinde zararlı etki var.

Beton içinde suyun donması sonunda meydana gelen genlik cisimde bir takım çekme gerilmeleri meydana getirir. Bu gerilmelerin çekme mukavemetine ulaştığı bölgelerde çatlaklar oluşur veya var olan çatlaklar biraz daha büyür.

Ortamın sıcaklık derecesinin sıfırın üstüne çıkmasıyla boşluklarda meydana gelmiş buz su haline dönüşür. Fakat bu donma ve çözülme olaylarının tekrarlanması halinde çatlaklar gelişerek birbiriyle birleşir, bir çatlaklar şebekesi meydana getirir.

Olayın devam etmesi evvela ufak parçaların betondan ayrılmasına veya dökülmesine neden olur, bunu betonun tamamen parçalanması izler. Bu açıklamalardan betonun donmadan zarar görmesine yol açan malzeme dışında iki faktörün bulunduğu anlaşılmaktadır. Bunlardan bir tanesi ortamdaki sıfırın altındaki sıcaklık derecesi, diğeri donma ve çözülme olaylarının sayısı.

Sıcaklık derecesinin etkisi, buzun basınç mukavemetinin sıcaklık derecesi düştükçe artmasından kaynaklanmaktadır. Donma olayı sonunda buzda meydana gelen basınç gerilmesi buzun basınç mukavemetine erişiyor veya bundan büyük bir değer alıyorsa buzun parçalanarak su haline dönüşmesiyle donma olayının zararlı etkisi ortadan kalkacaktır. Ortamın sıcaklık derecesi  $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$  nin üstünde kaldıkça betonlarda donma olayının elle tutulur zararlı etkileri yoktur.

Donma ve çözülme olaylarının tekrarlanma sayısı betonun donma olayından zarar görmesine neden olur. Bu sayının ( $n_k$ ) gibi bir değer alması sonunda beton donma olayından, daha evvel saptanan bir kriteriyuma göre, zarar görmeğe başlar ve yararlanılmaz bir duruma düşer. Donmaya dayanıklılık bakımından betonları ( $n_k$ ) değerlerine 100, 150 ve 200 gibi değerler vererek sınıflandırmak kabildir.

Örneğin beton 100 demek donma-çözülme olayının ancak 100 defa tekrarlanmasından sonra bu betonda donma olayı sonunda belirgin bir takım hasarların meydana gelmesi demektir. En elverişsiz koşullar geceleri donma olayının meydana gelmesi gündüzleri de sıcaklığın sıfırın üstüne çıkmasıdır. Böyle bir durumda donma ve çözülme olayları bir sene içinde çok tekrarlanacak ve bunun sonunda da birkaç sene geçtikten sonra da beton parçalanacaktır.

### 3.4.1. Donma çözünme olayına karşı alınacak önlemler

1. Kullanılacak çimento normal bir şekilde hidratasyon yapan, hidratasyon ısısı yüksek olmayan az rötre yapan bir çimento olmalıdır.
2. Betonun bileşiminde yer alacak agregalar donmadan zarar gören türden olmamalıdır.
3. Beton bileşiminin saptanmasında şu ilkelere uyulmalıdır.
  - a) Çimento dozajı büyük olmamalı, ve hiçbir vakit 350 kg değerini geçmemeli. Zira çimento dozajının yüksek bir değer alması betonun rötresini artırır, hidratasyon ısısını yükselterek çatlakların oluşmasını kolaylaştırır. Çatlaklar ise donma olayının zarar meydana getirmesinde en etkili rolü oynarlar.
  - b) Beton bileşimi kompasitesi yüksek olacak şekilde ve kabil olduğu kadar geçirimsiz bir beton elde edilmesini sağlamak üzere belirlenmelidir.
  - c) Su/çimento oranı, işlenebilme özelliği sağlamak şartıyla, mümkün olduğu kadar küçük bir değer almalıdır.
  - d) Yukarıdaki önlemler alınamıyorsa veya bunlar yeterli görülüyorsa donmaya dayanıklı betonların elde edilmesi için katkı maddesi kullanılmasına baş vurulur. Bu amaçla hava sürükleyici katkıları kullanılmalıdır

### 3.5. Donma Çözünme Olayının Durabiliteye Etkisi

Soğuk iklim koşullarında betonun kalıcılığını tehdit eden en önemli etkenlerden biri olan donma-çözünme olayıdır.

#### 3.5.1. Taze betonda donma çözünme olayı

Taze beton üretiminde buzlanma etkisi, suya doymuş toprak üzerindeki don etkisine benzer. Beton karıştırıldıktan sonra hemen don etkisine maruz kalırsa, su donarken hacmi %9 oranında artar. Beton henüz plastik kıvamda olduğundan bu hacim artışı nedeniyle buzun boşluklara hareketine engel olamaz. Buz oluşumu sonucunda taze



beton bünyesinde katı taneciklerin hareketi ile kütle transferi meydana gelir. Su beton bünyesinde yeniden dağılıp, buz kütlelerinin büyümesini sağlar.

Kütle transferi sayesinde beton kompozit malzemesinin ara yüzeylerindeki aderans ortadan kalkar.

### **3.5.2. Sertleşmiş betonda donma-çözünme etkisi**

Sertleşmiş ve suya doygun haldeki bir beton don etkisine kalınca, çimento harcının içindeki kapiler boşluklardaki su donar ve genişir. Çözünmeyi takip eden yeniden donma sonunda bu genişleme kümülatif olarak artar. Bu nedenle peş peşe donma-çözünme olaylarının etkisi çözünme olayının meydana gelmediği uzun süreli don etkisine kıyasla çok daha kuvvetlidir.

Bu durum bir önceki donma periyodunda meydana gelmiş ince bir çatlağın yeniden donma sırasında daha da büyümesiyle açıklanır

### **3.6 Durabiliteyi Azaltan Faktörler**

- Beton çatlakları
- Kür aşamasının iyi yapılamaması
- Geometrik kusurlar
- Projelendirme kusurları
- Çatlaklar
- Olumsuz çevre şartları
- Erozyon etkisi
- Kaviteasyon etkisi

## **BÖLÜM 4. DENEYSEL ÇALIŞMA**

### **4.1. Çalışmanın Amacı**

Bu çalışmada uçucu kül ve yüksek fırın cürufunun donma çözünme karşısında betonun durabilitesi üzerine etkileri incelenmiştir. Bu kapsamda çeşitli ikame oranlarında uçucu kül ve yüksek fırın cürufu kullanılarak hazırlanan beton numunelerinin laboratuvar ortamında uygun kür koşulları sağlanarak 7., 28. ve 56. günlerde basınç dayanımı deneyi yapılmıştır.

### **4.2. Çalışmanın Yapılışı**

Tablo2.1de özellikleri verilen agregalar ile 300 ve 400 dozlu şahit beton üretilmiştir. Bu şahit betonlara çeşitli oranlarda çimento yerine uçucu kül ve yüksek fırın cürufu ilave edilerek katkılı betonlar üretilmiştir. Üretilen betonlardan on ikişer adet numune alınmıştır. Bunlardan her üçü üzerinde 7, 28, 56. Günlerde basınç deneyi uygulanmıştır. Bulunan sonuçlar tablo 2,2 de verilmiştir. Daha sonra kalan numuneler tartım yapıldıktan sonra üçer âdeti donma çözünme deneyine tabi tutulmuştur. Bunun için -20 dereceye kadar soğutabilen soğutucu kullanılmıştır. Deney TS 3449 “ standardında belirtilen şekilde yapılmıştır. Numuneler soğutucuda -20 santigrat derecede 2 saat tutulup sonra 1 saat suda çözülmüştür. Tekrar soğutucuya konup bu işlem 25 defa tekrar edilmiştir. Deney sonrası tekrar ağırlıkları tartılarak basınç deneyine tabi tutulup basınç dayanımları ölçülmüştür. Donma-çözünme deneyi sonunda betondaki performans değişimleri ve kütle kayıpları incelenmiştir.

### 4.3. Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri

Bu çalışma için üretilen beton karışımlarında çeşitli özelliklerde malzemeler kullanılmıştır.

#### 4.3.1. Çimento

Bu deneysel çalışmada kullanılmak için üretilen betonlarda P.Ç 42,5 çimentosu kullanılmıştır. Bu çimentonun özelliği kütlece en az 2/3 oranında kalsiyum silikatlardan, alüminyum ve demir içeren klinker fazları ile diğer bileşiklerden oluşan hidrolik bağlayıcıdır. Çimentonun fiziksel özellikleri aşağıda Tablo 3.1' de verilmiştir.

Tablo 4.1 Deneysel çalışmada kullanılan çimentonun fiziksel özellikleri

Malzeme	FİZİKSEL ÖZELLİKLER									
	Özgül Ağırlık gr/cm <sup>3</sup>	Blanie cm <sup>2</sup> /gr	Priz Süresi		Hacim Gen. (mm)	Basınç Dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )			Puzolanik Aktivite	
			Baş.	Bit.		2 gün	7 gün	28 gün	7 gün	28 gün
Çimento	3,1	3285	2h 30'	3h 20'	2,00	22,2	39,2	48,0	...	...

#### 4.3.2. Agregası

Bu çalışmada I no, 2 no mıcır ve ve 0-3 mm kum kullanılmıştır. Malzeme yoğunlukları aşağı yukarı benzer yoğunluklara sahip (2,72 kg/dm<sup>3</sup>) Adapazarı civarındaki taş ocaklarından temin edilmiş agregalar ile Sakarya nehrinden çıkarılan dere kumu (2,58 kg/dm<sup>3</sup>) kullanılmıştır.

#### 4.3.3. Su

Beton yapımında su önemli bir bileşen olduğundan, beton karışım suyunun içilebilecek su veya daha önceden denenmiş iyi sonuç vermiş bütün sular kullanılabilir. Beton karma suyunda aşındırıcı karbonik asit, mangan bileşikleri,

amonyum tuzları, serbest klor, silt yağı, organik maddeler, evsel ve endüstriyel artıklar bulunmamalıdır. Çalışmamızda kullandığımız su, içilebilir özellikte Adapazarı şebeke suyudur.

#### 4.3.4. Yüksek fırın cürufu

Yüksek fırın cürufu, Ereğli demir çelik fabrikasından sağlanmıştır. Amorf yapıya sahip olan ve büyük miktarda  $\text{SiO}_2$  ve  $\text{Al}_2\text{O}_3$  içeren granüle yüksek fırın cürufu, öğütülerek çok ince taneli duruma getirildiğinde doğal puzolanların ve uçucu küllerin puzolanik özelliklerine benzer özellikler göstermektedir. Ayrıca, büyük miktarda CaO içermesi nedeniyle, öğütülmüş yüksek fırın cürufunun kendiliğinden de bir miktar bağlayıcı özelliği bulunmaktadır. Öğütülmüş yüksek fırın cürufu: Kalsiyum hidroksitle sulu ortamda birleştirilerek, hidrolik bağlayıcı madde olarak doğrudan kullanılabilir.

#### 4.3.5. Uçucu kül

En yaygın kullanılan puzolandır. Bu malzeme termik santralleri içinde öğütülmüş kömürün yanmasıyla ortaya çıkan bir üründür. U çalışmada Tablo.4.3.5 te kimyasal özellikleri verilen yatağan termik santrali uçucu kül (F tipi) kullanılmıştır.

Tablo 4.2 Uçucu Külü Kimyasal Özellikleri

	Tunçbilek U.Külü	TS 639	TS EN 450
$\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3$	84,50	min. 70	-
<b>MgO</b>	2,70	max. 5	-
<b>Rutubet</b>	0,27	max. 3	-
<b>SO<sub>3</sub></b>	0,48	max. 5	max. 3
<b>Kızdırma Kaybı</b>	0,84	max. 10	max. 5
<b>Cl<sup>-</sup>(klorür)</b>	0,008	-	max. 0,1
<b>Serbest CaO</b>	0,24	-	max. 1

#### 4.4. Beton Karışımlarının Hazırlanması ve Dizaynı

Homojen bir beton temin edebilmek için karıştırma işleminin tam olarak yapılması gerekir. Bu sebeple beton yapımı sırasında kullanılan donanım ve yöntemlerin beton içerisindeki en büyük agregayı da içeren malzemelerin en etkin bir şekilde

kariştirabilecek ve kullanacağı iş için en kk okme değerini verebilecek kapasitede olması gerekir.

Beton karişım hesabının yapılmasında ilk önce agrega karişım oranları saptanmıştır. Agrega elek analizine göre TS 707 de verilen standart eğrilerden A-B arasında düşecek bir karişım yapılmıştır.

Buna göre %50 kum, %30 1 no, %20 2 no kırmataş karişım oranlarının en uygun karişımı verdiği görülmüştür. Daha sonra 300 DZ'lu ve 400 DZ'lu Beton dizaynı yapılmıştır. TS802 ye göre hava miktarı ve su miktarları alınmıştır. Öncelikle okme değerı 15cm ile sınırlandırılmıştır. 15cm okmeyi verecek şekilde su ilavesi yada azaltılması yapılmıştır. Hesap sonucu 1m<sup>3</sup>'e giren teorik malzeme miktarları tablo 4.4.3 de verilmiştir.

12 adet 10 cm lik küp numune için 12 litre beton üretilmiştir. 12 dm<sup>3</sup> için malzeme miktarları tablo 4.4.4 de verilmiştir.

Her gruptan 12 adet 10x10x10 cm'lik numune olmak üzere 16 grupta 192 adet küp üretilmiştir.

Üç tanesi 7.gün, üç tanesi 28.gün, üç tanesi 56. Günde basınç deneyine tabi tutulmuştur. Diğer 3 adet numune donma-çözünme deneyine tabi tutulmuştur.

Tablo 4.3 Deneysel çalışmada kullanılan agrega için elek analizi

ELEK NO	ELEKTE KALAN MİKTAR								PAN
	No:32	No:16	No:8	No:4	No:2	No:1	No:0,5	No:0,25	
KUM	0	0	10	40	550	1230	2050	960	155
1NUMARA MICİR	0	0	950	3000	1020	3	2	1	24
2NUMARA MICİR	0	1890	2590	170	170	60	20	10	90

Tablo 4.4 Deneysel çalışmada kullanılan her betondaki agrega karışım oranları

<b>ELEK NO</b>	<b>ELEKTEN GEÇEN%</b>	<b>1 NUMARALI MICIR</b>	<b>2 NUMARALI MICIR</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>KARIŞIM</b>
31,5	100	100	100	100	100	100
16	100	100	62	62	80	100
8	100	91	10	38	62	79
4	99	21	7	23	47	55
2	88	1	4	14	37	45
1	63	0	0	8	28	32
0,5	12	0	0	6	18	6
0,25	4	0	0	2	8	1,5
<b>KARIŞIM ORANLARI</b>	50%	30%	20%			

Tablo 4.5 Deneysel çalışmada 1m<sup>3</sup> beton için gerekli malzeme miktarı.

kg/m <sup>3</sup> Beton								
DZ	KARIŞIM	KUM	NO:1 MICIR	NO:2 MICIR	SU(lt)	ÇİMENTO	U.K	Y.F.C
300 DZ	Şahit numune	936	583	389	165	300	0	0
300 DZ	% 10 UÇUCU KÜL	936	583	389	165	270	30	0
300 DZ	%20 UÇUCU KÜL	936	583	389	165	240	60	0
300 DZ	% 30 UÇUCU KÜL	936	583	389	165	210	90	0
300 DZ	% 10 Y.F.C	936	583	389	165	270	0	30
300 DZ	%20 Y.F.C	936	583	389	165	240	0	60
300 DZ	% 30 Y.F.C	936	583	389	165	210	0	90
300 DZ	% 40 Y.F.C	936	583	389	165	180	0	120
400 DZ	Şahit numune	823	513	342	220	400	0	0
400 DZ	% 10 UÇUCU KÜL	823	513	342	220	360	40	0
400 DZ	%20 UÇUCU KÜL	823	513	342	220	320	80	0
400 DZ	% 30 UÇUCU KÜL	823	513	342	220	280	120	0
400 DZ	% 10 Y.F.C	823	513	342	220	360	0	40
400 DZ	%20 Y.F.C	823	513	342	220	320	0	80
400 DZ	% 30 Y.F.C	823	513	342	220	280	0	120
400 DZ	% 40 Y.F.C	823	513	342	220	240	0	160

Tablo 4.6 Deneysel çalışmada kullanılan her 12dm<sup>3</sup> için malzeme miktarları

kg/12dm <sup>3</sup> Beton								
DZ	KARIŞIM	KUM	NO:1 MICIR	NO:2 MICIR	SU(lt)	ÇİMENTO	U.K.	Y.F.C
300 DZ	Şahit numune	11,2	7	4,7	1,98	3,6	0	0
300 DZ	% 10 UÇUCU KÜL	11,2	7	4,7	1,98	3,24	0,36	0
300 DZ	%20 UÇUCU KÜL	11,2	7	4,7	1,98	2,88	0,72	0
300 DZ	% 30 UÇUCU KÜL	11,2	7	4,7	1,98	2,52	1,08	0
300 DZ	% 10 Y.F.C	11,2	7	4,7	1,98	3,24	0	0,36
300 DZ	%20 Y.F.C	11,2	7	4,7	1,98	2,88	0	0,72
300 DZ	% 30 Y.F.C	11,2	7	4,7	1,98	2,52	0	1,08
300 DZ	% 40 Y.F.C	11,2	7	4,7	1,98	2,16	0	1,44
400 DZ	Şahit numune	9,87	6,15	4,1	2,64	4,8	0	0
400 DZ	% 10 UÇUCU KÜL	9,87	6,15	4,1	2,64	4,32	0,48	0
400 DZ	%20 UÇUCU KÜL	9,87	6,15	4,1	2,64	3,84	0,96	0
400 DZ	% 30 UÇUCU KÜL	9,87	6,15	4,1	2,64	3,36	1,44	0
400 DZ	% 10 Y.F.C	9,87	6,15	4,1	2,64	4,32	0	0,48
400 DZ	%20 Y.F.C	9,87	6,15	4,1	2,64	3,84	0	0,96
400 DZ	% 30 Y.F.C	9,87	6,15	4,1	2,64	3,36	0	1,44
400 DZ	% 40 Y.F.C	9,87	6,15	4,1	2,64	2,88	0	1,92



#### 4.5. Sertleşmiş Beton Numuneleri Üzerinde Yapılan Deneyler

Sertleşmiş beton üzerinde, betonun çeşitli özelliklerini tespit edebilmek için farklı deney yöntemleri uygulanmaktadır. Bu çalışmada betonun basınç dayanımı ve donma çözünmeye karşı durabilitesi gibi özelliklerini tespit etmek amacıyla çeşitli deney yöntemleri kullanılmıştır.

Üretilen betonlar üzerinde 7., 28., 56. Günde basınç deneyleri yapılmıştır.

Diğer üç numune üzerinde donma-çözümeye deneyleri yapılmıştır.

##### 4.5.1. Basınç dayanımı

Bu yöntemde beton standartlarında belirtilen boyutlara sahip standart küp numuneler kullanılmaktadır. Bu numuneler beton taze iken küp şekilli kalıplara beton standartlarının belirttiği tarzda, yerleştirilmekte ve bir gün sonra kalıplardan çıkartılmaktadır. Kalıplardan çıkartılan sertleşmiş beton numuneleri deney tarihine kadar beton standartlarının belirttiği kür ortamında saklandıktan sonra, deney presi olarak adlandırılan bir alet vasıtasıyla üniform basınç yükü altında kırılmaya tabi tutulmaktadır.



Şekil 4.1. Beton basınç deney presi

Basınç deneyi için laboratuarda bulunan şekil 4.5.1 görülen 250 t kapasiteli beton basınç presi kullanılmıştır. 7, 28, ve 56 gün su içinde bulunan numuneler çıkarılarak yüzeyleri kurulandıktan sonra basınç deneyine tabi tutulmuştur. Bulunan sonuçlar tablo 4.6.1 ve tablo 4.6.2 de verildiği gibidir.

#### **4.5.2 Donma çözünme deneyi**

Beton numunelerinin 56 günlük kür süresi bitince, suda saklanan numuneler çıkarılarak suya doygun halde donma-çözünme deneyi için deney aletine yerleştirilmiştir.  $-20\text{ C}^0$  de 2 saat tutulup çıkarılarak bir saat oda sıcaklığındaki suda çözdürülmüştür. Bu olay 25 kez devam ettirilmiştir. Böylece defa donma-çözünme deneyine tabi tutulan numunelerin deneye başlamadan ve deney bitince ağırlıkları ölçülmüştür. Böylece ağırlık kayıp oranları saptanacaktır. Daha sonra basınç deneyine tabi tutulmuştur. Bulunan sonuçlar tablo 4.6.5'te verilmiştir.

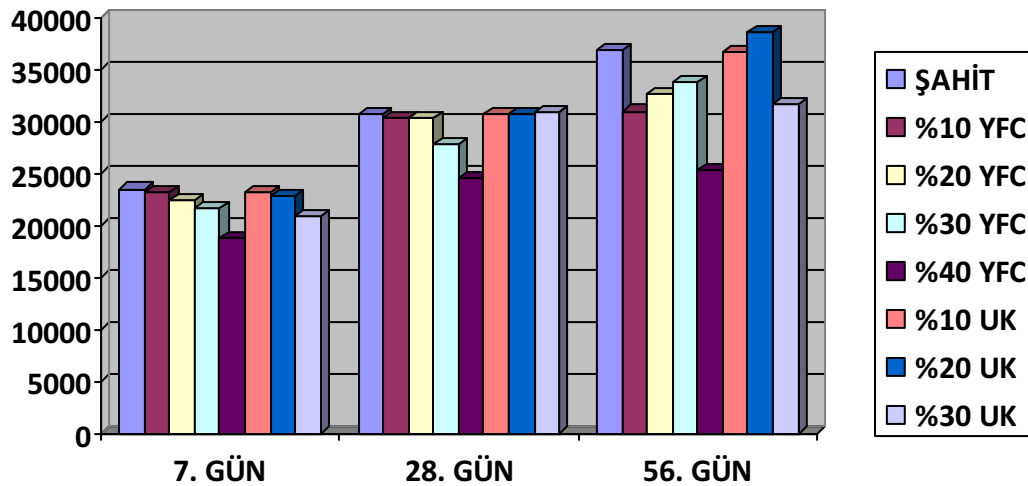
#### **4.6. Sertleşmiş Beton Deney Sonuçları**

Bu deney için 10x10x10 ebatlarında 300dz'lu ve 400dz'lu 12 şer adet şahit beton,yine çimento yerine farklı ikame oranlarında ( % 10, % 20, %30, %40 ) yüksek fırın cürufu ve ( % 10, % 20, %30 ) oranlarında uçucu kül kullanılarak her bir karışım için 12 şer adet olmak üzere toplam 192 adet numune üretilmiştir. Bu numunelerin 3 er adedi 7., 28. ve 56. günlerde basınç deneyine tabi tutulmuştur. 300 dz lu betonlarda bulunan deney sonuçları tablo 4.6.1 de verilmiştir.Tablo.4.6.2 de grafik olarak gösterilmiştir.

Tablo 4.7 300 DZ lu Betonların Basınç Dayanımları (MPa)

300 DZ 'LU BETON									
		YÜKSEK FIRIN CÜRUFU					UÇUCU KÜL		
DENEY YAŞI	SERİ	ŞAHİT	10%	20%	30%	40%	10%	20%	30%
7.GÜN	1. SERİ	22,826	22,196	22,235	22,300	18,633	23,327	23,834	20,988
	2. SERİ	23,501	23,521	22,002	21,916	18,671	23,962	22,307	20,563
	3. SERİ	24,037	23,620	23,196	20,499	18,807	22,229	22,146	21,242
	ORT.	<b>23,454</b>	<b>23,112</b>	<b>22,477</b>	<b>21,571</b>	<b>18,703</b>	<b>23,172</b>	<b>22,762</b>	<b>20,931</b>
28.GÜN	1. SERİ	30,229	31,540	30,418	27,915	25,010	30,030	30,289	30,135
	2. SERİ	30,556	29,026	29,684	26,861	24,769	30,612	30,406	31,068
	3. SERİ	31,102	30,272	30,592	28,616	23,754	31,337	31,557	31,341
	ORT.	<b>30,629</b>	<b>30,279</b>	<b>30,231</b>	<b>27,797</b>	<b>24,511</b>	<b>30,659</b>	<b>30,750</b>	<b>30,848</b>
56.GÜN	1. SERİ	38,300	31,250	31,700	34,438	25,288	36,641	39,245	31,535
	2. SERİ	37,093	31,567	32,016	33,480	25,449	36,900	39,684	32,562
	3. SERİ	35,279	30,159	34,138	33,450	25,275	36,543	36,823	30,843
	ORT.	<b>36,890</b>	<b>30,992</b>	<b>32,618</b>	<b>33,789</b>	<b>25,337</b>	<b>36,694</b>	<b>38,584</b>	<b>31,646</b>

Tablo 4.8 300 DZ lu Betonların Basınç Dayanımlarını Grafik gösterimi (MPa)

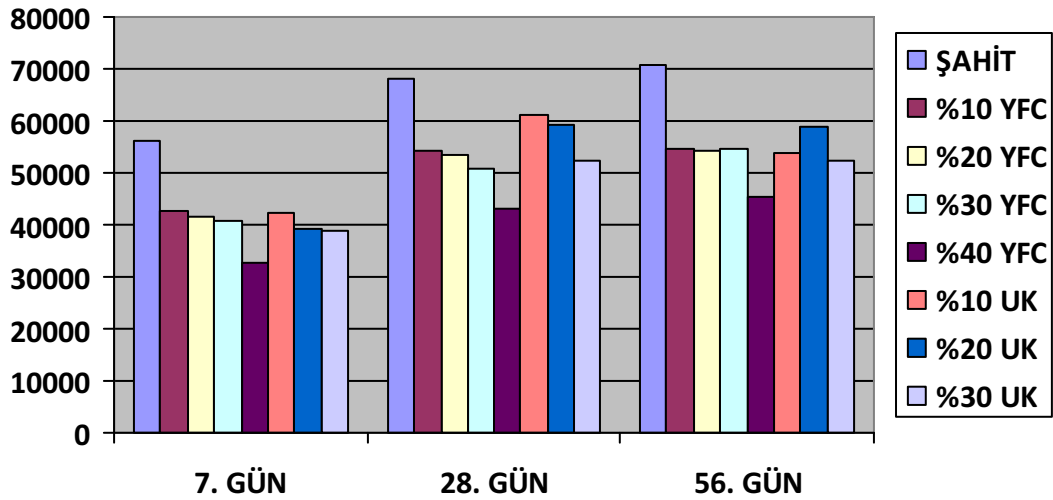


400 Dz betonlardan elde edilen basınç deneyi sonuçları Tablo..4.9. te verilmiştir.grafik olarak ta Tablo 4.10. da gösterilmiştir.

Tablo 4.9 400 Dz lu Betonların Basınç Dayanımları (MPA)

400 DZ 'LU BETON									
DENEY YAŞI	SERİ	ŞAHİT	YÜKSEK FIRIN CÜRUFU				UÇUCU KÜL		
			10%	20%	30%	40%	10%	20%	30%
7.GÜN	1. SERİ	56,225	43,785	42,675	39,918	34,938	42,737	39,864	38,174
	2. SERİ	55,934	42,677	39,671	40,842	32,608	42,637	39,753	39,765
	3. SERİ	56,235	42,132	41,788	40,998	30,864	42,100	37,562	38,882
	<b>ORT.</b>	<b>56,131</b>	<b>42,864</b>	<b>41,378</b>	<b>40,586</b>	<b>32,803</b>	<b>42,491</b>	<b>39,059</b>	<b>38,940</b>
28.GÜN	1. SERİ	67,074	54,743	54,426	50,922	41,055	60,393	59,240	53,911
	2. SERİ	69,197	53,554	53,256	50,003	43,318	60,019	58,406	50,930
	3. SERİ	67,418	54,972	52,732	51,911	44,632	62,500	59,487	51,761
	<b>ORT.</b>	<b>67,896</b>	<b>54,423</b>	<b>53,471</b>	<b>50,945</b>	<b>43,001</b>	<b>60,970</b>	<b>59,044</b>	<b>52,200</b>
56.GÜN	1. SERİ	70,385	52,084	54,684	53,352	45,866	55,160	59,061	50,780
	2. SERİ	70,470	56,720	52,254	54,202	45,275	53,190	60,639	51,830
	3. SERİ	71,600	55,337	56,296	56,385	44,762	52,800	56,947	54,025
	<b>ORT.</b>	<b>70,818</b>	<b>54,713</b>	<b>54,411</b>	<b>54,646</b>	<b>45,301</b>	<b>53,716</b>	<b>58,882</b>	<b>52,211</b>

Tablo 4.10 400 Dz lu Betonların Basınç Dayanımlarını Grafik gösterimi(MPA)



Donma-Çözülme deneyleri sonucunda yapılan basınç dayanımı deney sonuçları Tablo.4.11. Deney sonucu ölçülen ve deney öncesi ölçülen ağırlıklar Tablo.4.12 ve Tablo.4.13 de verilmiştir,

Tablo 4.11 300 ve 400 Dz lu Betonların Donma-Çözünme Deneyi Sonrası Bulunan Basınç Dayanım Sonuçları(MPA)

			YÜKSEK FIRIN CÜRUFU				UÇUCU KÜL		
BETON DOZU	SERİ	ŞAHİT	10%	20%	30%	40%	10%	20%	30%
300 DZ	1. SERİ	30,039	30,470	30,230	32,910	23,810	32,025	40,700	30,650
	2. SERİ	28,993	30,520	30,350	31,820	22,580	33,770	35,720	30,310
	3. SERİ	29,039	28,040	29,020	30,606	24,740	33,730	33,860	29,290
	<b>ORT.</b>	<b>29,357</b>	<b>29,676</b>	<b>29,866</b>	<b>31,778</b>	<b>23,710</b>	<b>33,175</b>	<b>36,760</b>	<b>30,083</b>
400DZ	1. SERİ	52,510	48,890	47,130	43,100	44,780	46,980	46,070	43,688
	2. SERİ	56,090	51,470	53,420	44,010	43,760	45,940	47,640	44,950
	3. SERİ	54,489	43,190	48,910	42,610	42,580	48,610	45,090	44,870
	<b>ORT.</b>	<b>54,363</b>	<b>47,850</b>	<b>49,820</b>	<b>43,250</b>	<b>43,706</b>	<b>47,176</b>	<b>46,266</b>	<b>44,502</b>

Tablo 4.12 Deneye Tabi Tutulan 300 dz lu Beton Numunelerin Ağırlıkları

300 DZ 'LU BETONLARIN AĞIRLIKLARI(GR)									
			YÜKSEK FIRIN CÜRUFU				UÇUCU KÜL		
ZAMAN	SERİ	ŞAHİT	10%	20%	30%	40%	10%	20%	30%
DENEY ÖNCESİ	1. SERİ	2398	2301	2308	2369	2372	2370	2333	2306
	2. SERİ	2376	2359	2375	2352	2367	2455	2390	2303
	3. SERİ	2396	2327	2345	2316	2398	2340	2387	2345
	<b>ORT.</b>	<b>2390</b>	<b>2329</b>	<b>2342</b>	<b>2345</b>	<b>2378</b>	<b>2388</b>	<b>2370</b>	<b>2318</b>
DENEY SONRASI	1. SERİ	2337	2280	2285	2337	2362	2342	2312	2298
	2. SERİ	2318	2223	2234	2331	2335	2427	2381	2283
	3. SERİ	2327	2291	2290	2295	2362	2332	2374	2302
	<b>ORT.</b>	<b>2327</b>	<b>2264</b>	<b>2270</b>	<b>2321</b>	<b>2353</b>	<b>2367</b>	<b>2355</b>	<b>2294</b>

Tablo 4.13 Deneye Tabi Tutulan 400 dz lu Beton Numunelerin Ağırlıkları

400 DZ 'LU BETONLARIN AĞIRLIKLARI(GR)									
			YÜKSEK FIRIN CÜRUFU				UÇUCU KÜL		
ZAMAN	SERİ	ŞAHİT	10%	20%	30%	40%	10%	20%	30%
DENEY ÖNCESİ	1. SERİ	2479	2382	2355	2370	2432	2413	2482	2492
	2. SERİ	2433	2401	2409	2391	2499	2421	2435	2347
	3. SERİ	2477	2367	2373	2392	2483	2399	2441	2493
	ORT.	<b>2463</b>	<b>2383</b>	<b>2379</b>	<b>2384</b>	<b>2471</b>	<b>2411</b>	<b>2452</b>	<b>2444</b>
DENEY SONRASI	1. SERİ	2464	2359	2333	2355	2415	2404	2454	2481
	2. SERİ	2420	2398	2395	2383	2477	2403	2400	2326
	3. SERİ	2462	2354	2349	2374	2467	2385	2426	2477
	ORT.	<b>2448</b>	<b>2370</b>	<b>2359</b>	<b>2370</b>	<b>2460</b>	<b>2397</b>	<b>2427</b>	<b>2428</b>

56 günde basınç deneyine tabi tutulan numunelerden deney sonucu elde edilen basınç dayanım değerleri ile 56. Gün sonunda donma-çözülme deneyine tabi tutulan numunelerin basınç dayanım sonuçları Tablo.4.6.8 ve tablo.4.6.9 da karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Tablo.4.14. 300 dz lu betonların basınç dayanımlarının karşılaştırmalı gösterilmesi (MPa)

300 DZLU BETON			YÜKSEK FIRIN CÜRUFU				UÇUCU KÜL		
DENEY ZAMANI	SERİ	ŞAHİT	10%	20%	30%	40%	10%	20%	30%
ÖNCE	1. SERİ	38,300	31,250	31,700	34,438	25,288	36,641	39,245	31,535
	2. SERİ	37,093	31,567	32,016	33,480	25,449	36,900	39,684	32,562
	3. SERİ	35,279	30,159	34,138	33,450	25,275	36,543	36,823	30,843
	ORT.	<b>36,890</b>	<b>30,992</b>	<b>32,618</b>	<b>33,789</b>	<b>25,337</b>	<b>36,694</b>	<b>38,584</b>	<b>31,646</b>
SONRA	1. SERİ	30,039	30,470	30,230	32,910	23,810	32,025	40,700	30,650
	2. SERİ	28,993	30,520	30,350	31,820	22,580	33,770	35,720	30,310
	3. SERİ	29,039	28,040	29,020	30,606	24,740	33,730	33,860	29,290
	ORT.	<b>29,357</b>	<b>29,676</b>	<b>29,866</b>	<b>31,778</b>	<b>23,710</b>	<b>33,175</b>	<b>36,760</b>	<b>30,083</b>

Tablo.4.15 400 dz lu Betonların Basınç dayanımlarının Karşılaştırmalı Gösterilmesi (MPa)

400 DZLU BETON			YÜKSEK FIRIN CÜRUFU				UÇUCU KÜL		
DENEY ZAMANI	SERİ	ŞAHİT	10%	20%	30%	40%	10%	20%	30%
ÖNCE	1. SERİ	70,385	52,084	54,684	53,352	45,866	55,160	59,061	50,780
	2. SERİ	70,470	56,720	52,254	54,202	45,275	53,190	60,639	51,830
	3. SERİ	71,600	55,337	56,296	56,385	44,762	52,800	56,947	54,025
	<b>ORT.</b>	<b>70,818</b>	<b>54,713</b>	<b>54,411</b>	<b>54,646</b>	<b>45,301</b>	<b>53,716</b>	<b>58,882</b>	<b>52,211</b>
SONRA	1. SERİ	52,510	48,890	47,130	43,100	44,780	46,980	46,070	43,688
	2. SERİ	56,090	51,470	53,420	44,010	43,760	45,940	47,640	44,950
	3. SERİ	54,489	43,190	48,910	42,610	42,580	48,610	45,090	44,870
	<b>ORT.</b>	<b>54,363</b>	<b>47,850</b>	<b>49,820</b>	<b>43,250</b>	<b>43,706</b>	<b>47,176</b>	<b>46,266</b>	<b>44,502</b>

## BÖLÜM 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çalışmada çimento yerine çeşitli ikame oranlarında Yüksek Fırın Cürufu ve Uçucu Kül kullanılarak elde edilen betonların erken ve ileri yaşlardaki basınç dayanımları ve donma çözünmeye karşı dayanımı gibi özellikleri incelenmiştir. Elde edilen betonların servis ömürleri ve performansları açısından değerlendirilerek uygun ikame oranlarında kullanılabilirlikleri araştırılmıştır.

300DZ'lu şahit numuneleri üzerinde yapılan basınç dayanımı deney sonuçları 7. günde 23.454 Mpa, 28. günde 30.629 Mpa, 56. günde 36.890 Mpa olarak elde edilmiştir. Donma-çözünme deneyi sonucunda 56. günlük numunelerin basınç dayanımı ise 29.357 Mpa olarak ölçülmüştür

%10 YFC kullanılarak üretilen beton numuneleri üzerinde yapılan basınç dayanımı deney sonuçları 7. günde 23.112 Mpa, 28. günde 30.279 Mpa, 56. günde 30.992 Mpa olarak elde edilmiştir. Deney sonucunda 56. günlük numunelerin basınç dayanımı ise 29.676 Mpa olarak ölçülmüştür.

%20 YFC kullanılarak üretilen beton numuneleri üzerinde yapılan basınç dayanımı deney sonuçları 7. günde 22.477 Mpa, 28. günde 30.231 Mpa, 56. günde 32.618 Mpa olarak elde edilmiştir. Deney sonucunda 56. günlük numunelerin basınç dayanımı ise 31.576 Mpa olarak ölçülmüştür.

%30 YFC kullanılarak üretilen beton numuneleri üzerinde yapılan basınç dayanımı deney sonuçları 7. günde 21.571 Mpa, 28. günde 27.797 Mpa, 56. günde 33.789 Mpa olarak elde edilmiştir. Deney sonucunda 56. günlük numunelerin basınç dayanımı ise 31.778 Mpa olarak ölçülmüştür.



%40 YFC kullanılarak üretilen beton numuneleri üzerinde yapılan basınç dayanımı deney sonuçları 7. günde 20.931 Mpa, 28. günde 30.848 Mpa, 56. günde 31.646 Mpa olarak elde edilmiştir. Deney sonucunda 56. günlük numunelerin basınç dayanımı ise 23.710 Mpa olarak ölçülmüştür.

%10 UK kullanılarak üretilen beton numuneleri üzerinde yapılan basınç dayanımı deney sonuçları 7. günde 23.172 Mpa, 28. günde 30.659 Mpa, 56. günde 36.694 Mpa olarak elde edilmiştir. Deney sonucunda 56. günlük numunelerin basınç dayanımı ise 33.175 Mpa olarak ölçülmüştür.

%20 UK kullanılarak üretilen beton numuneleri üzerinde yapılan basınç dayanımı deney sonuçları 7. günde 22.762 Mpa, 28. günde 30.750 Mpa, 56. günde 38.584 Mpa olarak elde edilmiştir. Deney sonucunda 56. günlük numunelerin basınç dayanımı ise 36.760 Mpa olarak ölçülmüştür.

%30 UK kullanılarak üretilen beton numuneleri üzerinde yapılan basınç dayanımı deney sonuçları 7. günde 20.931 Mpa, 28. günde 30.848 Mpa, 56. günde 31.646 Mpa olarak elde edilmiştir. Donma – çözünme deneyi sonucunda 56. günlük numunelerin basınç dayanımı ise 30.083 Mpa olarak ölçülmüştür.

300DZlu betonlarda şahit betonun 7, 28, 56 günlük dayanımları, uçucu küllü betonlar ile karşılaştırıldığında %20 U.K kullanılmasının daha uygun olduğu saptanmıştır. Şahit betona göre dayanımı % 1,5 artmıştır. Y.F.C kullanılan betonlarda belirgin bir artış görülmemiştir.

300DZ lu betonların donma-çözünme deneyine girdikten sonra basınç dayanımları arasındaki oranlar; Şahit numunede %20, %10UK olan karışımda %9,6 %20UKolan karışımda %4,72, %30UK olan karışımda %5, %10Y.F.C olan karışımda %4, %20Y.F.C olan karışımda %8,4, %30Y.F.C olan karışımda %5,95 ve %40 Y.F.C olan karışımda da %6,4 basınç dayanımı kaybı olmuştur.

300DZlu betonların donma-çözünme deney girmeden önce ve deneyden çıktıktan sonra hassas tartı ile tartılmıştır. Şahit numunede %2,63, %10UK olan karışımda

%0,87 %20UK olan karışımda %0,63, %30UK olan karışımda %1,03, %10Y.F.C olan karışımda %2,79, %20Y.F.C olan karışımda %3, %30Y.F.C olan karışımda %1 ve %40 Y.F.C olan karışımda da %1,05 kütle kaybı olmuştur. Bu sonuçlara bakıldığında kütle kayıplarının arasında ciddi bir fark olmadığı görülmüştür.

300DZ betonda en fazla kütle kaybı %2,79 ile %10 YFC olan karışımda meydana gelmiştir. En az kütle kaybı ise %0,63 ile %20 U.K olan karışımda meydana gelmiştir.

400DZ'lu şahit numuneleri üzerinde yapılan basınç dayanımı deney sonuçları 7. günde 56.131 Mpa, 28. günde 67.896 Mpa, 56. günde 70.818 Mpa olarak elde edilmiştir. Donma – çözünme deneyi sonucunda 56. günlük numunelerin basınç dayanımı ise 54.363 Mpa olarak ölçülmüştür.

%10 YFC kullanılarak üretilen beton numuneleri üzerinde yapılan basınç dayanımı deney sonuçları 7. günde 42.864 Mpa, 28. günde 54.423 Mpa, 56. günde 54.713 Mpa olarak elde edilmiştir. Donma – çözünme deneyi sonucunda 56. günlük numunelerin basınç dayanımı ise 47.850 Mpa olarak ölçülmüştür.

%20 YFC kullanılarak üretilen beton numuneleri üzerinde yapılan basınç dayanımı deney sonuçları 7. günde 41.378 Mpa, 28. günde 53.471 Mpa, 56. günde 54.411 Mpa olarak elde edilmiştir. Donma – çözünme deneyi sonucunda 56. günlük numunelerin basınç dayanımı ise 49.820 Mpa olarak ölçülmüştür.

%30 YFC kullanılarak üretilen beton numuneleri üzerinde yapılan basınç dayanımı deney sonuçları 7. günde 40.586 Mpa, 28. günde 50.945 Mpa, 56. günde 54.646 Mpa olarak elde edilmiştir. Donma – çözünme deneyi sonucunda 56. günlük numunelerin basınç dayanımı ise 43.250 Mpa olarak ölçülmüştür.

%40 YFC kullanılarak üretilen beton numuneleri üzerinde yapılan basınç dayanımı deney sonuçları 7. günde 32.803 Mpa, 28. günde 43.001 Mpa, 56. günde 45.301 Mpa olarak elde edilmiştir. Donma – çözünme deneyi sonucunda 56. günlük numunelerin basınç dayanımı ise 43.706 Mpa olarak ölçülmüştür.

%10 UK kullanılarak üretilen beton numuneleri üzerinde yapılan basınç dayanımı deney sonuçları 7. günde 42.491 Mpa, 28. günde 60.970 Mpa, 56. günde 53.716 Mpa olarak elde edilmiştir. Donma – çözünme deneyi sonucunda 56. günlük numunelerin basınç dayanımı ise 47.176 Mpa olarak ölçülmüştür.

%20 UK kullanılarak üretilen beton numuneleri üzerinde yapılan basınç dayanımı deney sonuçları 7. günde 39.059 Mpa, 28. günde 59.044 Mpa, 56. günde 59.715 Mpa olarak elde edilmiştir. Donma – çözünme deneyi sonucunda 56. günlük numunelerin basınç dayanımı ise 46.266 Mpa olarak ölçülmüştür.

%30 UK kullanılarak üretilen beton numuneleri üzerinde yapılan basınç dayanımı deney sonuçları 7. günde 38.940 Mpa, 28. günde 52.200 Mpa, 56. günde 52.211 Mpa olarak elde edilmiştir. Donma – çözünme deneyi sonucunda 56. günlük numunelerin basınç dayanımı ise 44.502 Mpa olarak ölçülmüştür.

400DZlu betonlarda şahit betonun 7, 28, 56 günlük dayanımları, uçucu küllü betonlar ile karşılaştırıldığında katkı kullanılmamasının daha uygun olduğu saptanmıştır.

400DZ lu betonların donma-çözünme deneyine girdikten sonra basınç dayanımları arasındaki değişme oranları; Şahit numunede % 23, %10UK olan karışımda %12, %20UK olan karışımda %21, %30UK olan karışımda %14,7, %10 Y.F.C olan karışımda %12,5, %20Y.F.C olan karışımda %8,43, %30Y.F.C olan karışımda %20,8 ve %40 Y.F.C olan karışımda da %3,5 basınç dayanımı kaybı olmuştur.

400DZlu betonların donma-çözünme deney girmeden önce ve deneyden çıktıktan sonra hassas tartı ile tartılmıştır. Şahit numunede % 0,63, %10 UK olan karışımda %0,58, %20 UK olan karışımda %1,01, %30 UK olan karışımda %0,65, %10 Y.F.C olan karışımda %0,54, %20 Y.F.C olan karışımda %0,84, %30 Y.F.C olan karışımda %0,58 ve %40 Y.F.C olan karışımda da %0,44 kütle kaybı olmuştur. Bu sonuçlara bakıldığında kütle kayıplarının arasında fark olmadığı görülmüştür.

400DZ betonda en fazla kütle kaybı %1,01 ile %20 U.K olan karışımda meydana gelmiştir. En az kütle kaybı ise %0,44 ile %40 Y.F.C olan karışımda meydana gelmiştir.

Donma-çözünme deneyi yapılmadan önceki basınç dayanımları ile deney yapıldıktan sonraki basınç dayanımları karşılaştırıldığında, deney sonucunda 300DZlu betonda en uygun kullanılacak olan puzolan katkı ve katkı oranı %10 Y.F.C, 400DZ betonda ise %40Y.F.C olduğu görülüyor.

400DZlu betonlarda ise şahit beton numuneleri 7, 28 ve 56 günlük dayanımları U.K ve Y.F.C betonlar göre daha yüksek çıkmıştır. Genel araştırmalarda puzolan maddeler 56. Günden itibaren daha yüksek değerler verdiği belirtilmektedir. Ancak bu burada buna ulaşamamıştır.

Nedeni deney koşullarının hassas olmayışındandır.

Sonuç olarak Y.F.C ve U.K kullanımları ile daha geçirimsiz bir beton üretilmesi söz konusu olduğundan donma çözünme direnci artmaktadır. Bu nedenle karasal iklimlerde yani donma çözünme olaylarının çok olduğu bölgelerde puzolan katkılarının kullanılmasının uygun olduğu anlaşılmaktadır ve tavsiye edilmektedir.

Bu çalışmaya ilave olarak bu deneylerin hava sürükleyici katkı kullanılarak yapılması ile araştırılabilir.

## KAYNAKLAR

AĞAR, E. ve ÖZTAŞ, G. ve SÜTAŞ, Beton Yollar, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul, (1998)

ASLAN, A., “ Termik Santral ve Biyokütle Atıkları İle Tras Katkılarının Çimentonun Mekanik ve Hidratasyon Özelliklerine Etkilerinin Araştırılması” K.T.Ü. Doktora Tezi, Trabzon, (1998)

ASTM C 1202, Standart Test Method for Electrical Indication of Concrete’s ability to Resist Chloride Ion Penetration, ASTM, U.S.A. (1997)

BARADAN, B., Yapı Malzemesi-II Ders Notu, Dokuz Eylül Üniversitesi Müh. Fak. Yayınları, No: 207, İzmir, (1994)

CELEP, Z. ve KUMBASAR, N., Betonarme Yapılar, İhlas Matbaacılık, İstanbul, (2001)

CRIWELL, B., “ Pulvarize Uçucu Kül Nedir ?” , Cement and Concrete Research 18, 1-8. (1992)

D.P.T, “ Çimento Hammaddeleri ve Yapı Malzemeleri “ Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı , Madencilik Özel İhtisas Komisyon Raporu. (1986)

ERDAL, M., Beton Dayanımının Bazı Tahribatsız Yöntemlerle Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, (2002)

ERDOĞAN, T.Y., “ Türkiye’de Üretilen Çimentolar , Özellikleri ve Kullanımları “, Çimento Sempozyumu, TMMOB İnşaat ve Kimya Mühendisleri Odası , 67-80, Ankara, (1995)

ERDOĞAN, T.Y., “ Beton, ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş.Yayını, Ankara, (2003)

ERSOY, U. ve ÖZCEBE, G., 2001. Betonarme, Bizim Büro Basımevi, Ankara, (2001)

GÖKÇE, A., “ Farklı İncelikteki Uçucu Küllerin Betondaki Performanslarının

Karşılaştırılması” , İ.T.Ü. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, (1995)

GÜVERCİN, T., “ Silis Dumanı, Uçucu Kül ve Yüksek Fırın Cürufu’nun Bağlayıcı Olarak Çimento Üzerindeki Etkisi” , Atatürk Üniversitesi ,Yüksek Lisans Tezi, Erzurum, (2002)

KARAKULE, F., Akalın, T., Uçar, S., “ Türkiye’de ve Dünyada Hazır Beton Sektörü”, Beton 2004 Kongresi , 10- 12 haziran , 2-15, İstanbul, (2004)

KAPLAN, H., BİNİCİ, H., “ Pozzolan and Cements With Pozzolan “, Çimento ve Beton Dünyası Dergisi, TÇMB, 1(1) , 23-30, Ankara, (1996)

KAPLAN, H., BİNİCİ, H., “ Traslı Çimento ile Üretilen Betonların Mukavemeti”, Nuh Dünyası Dergisi, 28-32, Nisan (1999)

LİLKOVA, V., STOİTCHLOV, V., “ Pozzolit Aktif Mineral Katkısının Çimento Harçları ve Betonların Özellikleri Üzerine Etkisi “ , Cement and Research, Vol. 26, 7: 1-8. ( 1999)

MASSAZZA, F., “ Puzzolans and Durability of Concrete “ Cement and Concrete World, Journal of TMMAA Vol: 3, No : 21, October Ankara, (1999)

NAKAMURA, G., AIZAWA, T., NAKESE, K., “Optimization of Cement Manufacturing Process “ , IFAC Automatuon in Mining , Mineral and Metal Processing , 103-110, Tokyo, Japan, (1986)

ONAT, O.B., “ Türkiye’de Üretilen Yüksek Fırın Cüruflarının Çimento Özelliklerine Etkisi”, İ.T.Ü. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, (1998)

ÖZMAL, F., “ Bor Endüstri Atıkları , Uçucu Kül, Taban Külü ve Alünit Mineralinin Çimento Üretiminde Katkı Maddesi Olarak Değerlendirilmesi “ , D.P.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kütahya, (2005)

ÖZDEMİR, B., “Tunçbilek Termik Santrali Uçucu Külleri’nin Karakterizasyonu ve Yan Ürünlerinin Eldesi “, İ.T.Ü. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, (2001)

POSTACIOĞLU, B., “ Beton ( Bağlayıcı maddeler ), Cilt I, Matbaa Teknisyenleri Basımevi, İstanbul, (1986)

RAMACHANDRAN, V.S., “ Concrete Admixtures Handbook” , Noyes Publication, New Jersey, U.S.A. (1995)

ROUMAIN, J.C. and SARKAR, S.L., “ Cements of the 21th Century “ Second International Symposium on Cement and Concrete Technology in the 2000 , 1: 29-40, İstanbul, (2000)

SAYGILI, H., “ Puzolan İçeren Çimentolar “ Elazığ Çimento Dergisi Aralık sayısı, 8: 23-27. (2000)

ŞENGÜL, Ö., TAŞDEMİR, M.A., SÖNMEZ, R., “ Yüksek Oranda Uçucu Kül İçeren Normal ve Yüksek Dayanımlı Betonların Klor Geçirimsizliği” , I.Ulusal Yapı Malzemeleri Kongresi, 9-13 Ekim , 75-85. (2002)

ŞENSÖZ, B.Ö., YALÇIN, S., “ Çimento ve Beton” , Batıçim Yayını , s. 125, İzmir, (2000)

TARGAN, Ş., “Kula Cürufu ve Bentonit ile Termik Santral ve Kolemanit Konsantrator Atıklarının Çimento Üretiminde Katkı Maddesi Olarak Değerlendirilmesi “, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü , Doktora Tezi. (2001)

TARGAN, Ş., OLGUN, A., ERDOĞAN, Y., SEVİNÇ, V., “ Effect of Supplementary Cementing Material on the Properties of Cement of Concrete” Cement and Concrete Research, 2006, pp.1-8. ( 2002)

Türkiye Çimento Sanayi T.A.Ş Yayını , T.C. Başbakanlık D.P.T Müsteşarlığı Yayını. (1973)

TÇMB, “ Boyut Küçültme Teknolojisi” , Rapor No: 1, Proje No: UNİPR , 96 / 09, Mayıs, Ankara, (1999)

TOSUN, K., Uçucu Kül ve Silika Tozunun Alkali-Silika –Reaksiyonu’na Etkisi”, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir, (2001)

TÜRKER, P. ve Diğerleri., “ Türkiye’deki Uçucu Küllerin Sınıflandırılması ve Özellikleri”, TÇMB, Ar-Ge Enstitüsü, Y03.03 , Ankara, (2004)

TOKYAY, M., ERDOĞDU, K., “ Cüruflar ve Cürüflü Çimentolar”, TÇMB Ar-Ge / Y 97-2, Ekim. (2003)

TS EN 3502 , Ankara, (1 Mart 1981)

YENİBOĞALI, A., ERDOĞDU, K., “ Çimento ve Betonda Mineral Katkılar “ , Nuh Dünyası Dergisi, Şubat- Haziran , 40-59. (2001),

## ÖZGEÇMİŞ

Doğan Tan, 02.02.1982 de Sakarya'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Sakarya Atatürk ilk öğretim okulu, Dr. Nuri Bayar Orta okulu ve Sakarya Ali Dilmen Süper Lisesinde tamamladı. Lise yıllarında bisiklet sporunu yarı profesyonel olarak yaptı. Lisans eğitimine 2001-2005 eğitim yılında Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde başladı. 2004-2005 eğitim yılında Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünden Ağustos ayında mezun oldu. 2006-2007 eğitim yılında Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Malzemesi Anabilim Dalı'nda yüksek lisansa başladı. Yüksek lisans çalışmasının ilk döneminde kayıt dondurma işlemi yapıp askerlik görevini yapmaya Ş.Urfa'ya gitti. Askerlik dönüşü 2007-2008 eğitim dönemi başında yüksek lisans eğitimine kaldığı yerden devam etti.