

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

**YÜKSEK FIRIN CÜRUFUNUN BETONUN
PERFORMANSINA VE KLOR GEÇİRİMLİLİĞİNE
ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş.Müh. Olcay KARADUMAN

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

Ocak 2010

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YÜKSEK FIRIN CÜRUFUNUN BETONUN
PERFORMANSINA VE KLOR GEÇİRİMLİLİĞİNE
ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**


YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş.Müh. Olcay KARADUMAN

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Enstitü Bilim Dalı : YAPI MALZEMESİ

Bu tez 14/01/2010 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.


Yrd. Doç. Dr. Mansur SÜMER
Jüri Başkanı


Prof. Dr. Kemalettin YILMAZ
Üye


Prof. Dr. Ahmet C. APAY
Üye

TEŞEKKÜR

Tezin hazırlanması aşamasında bana her türlü desteği veren danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Mansur SÜMER' e minnet ve şükranlarımı sunarım. Eğitimim boyunca emeği geçen tüm hocalarıma da minnet duygularımı sunmayı bir borç bilirim.

Çalışmalarım esnasında bana yardımcı olmaya çalışan bütün arkadaşlarıma, özellikle projenin ilerlemesinde büyük yardımı olan değerli arkadaşım İnş. Yük. Müh. Ferhat TEMÜR' e teşekkür etmek isterim. Verdikleri maddi ve manevi destekten dolayı aileme de teşekkür ederim.

Ocak 2010

Olçay KARADUMAN

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vii
TABLolar LİSTESİ.....	viii
ÖZET.....	ix
SUMMARY.....	x
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.	
BETONU OLUŞTURAN MALZEMELER.....	3
2.1. Agregalar.....	3
2.2. Çimento.....	3
2.3. Su.....	4
2.4. Betonun Mekanik Özellikleri.....	4
2.4.1. Betonun basınç dayanımı.....	5
2.4.1.1. Betonun basınç dayanımına etki eden faktörler.....	6
2.5. Betonda Durabilite Kavramı.....	7
2.5.1. Betonun geçirimsizlik özellikleri.....	8
2.5.1.1. Betonda su geçirimsizliği ve kılcallık.....	9
2.5.2. Hızlı klorür geçirimsizliği yöntemi.....	9
2.6. Puzolanlar.....	12
2.6.1. Puzolanların tanımı.....	12
2.6.2. Puzolanların tarihçesi.....	12

2.6.3. Puzolanların kullanımı.....	12
2.6.4. Puzolan çeşitleri.....	13
2.6.4.1. Doğal puzolanlar.....	13
2.6.4.2. Yapay puzolanlar.....	14
2.7. Çimentoda Puzolan Kullanımının Etkileri.....	18
2.7.1. Teknik etki.....	18
2.7.1.1. Dayanım.....	20
2.7.1.2. Dayanıklılık.....	23
2.8. Betonda Kullanılan Kimyasal Katkılar.....	28
2.8.1. Süperakışkanlaştırıcılar.....	28
2.8.2. Priz süresini değiştiren kimyasal katkılar.....	29
2.8.3. Hava sürükleyici katkılar.....	29
2.8.4. Antifrizler.....	30
BÖLÜM 3.	
DENEYSEL ÇALIŞMA.....	31
3.1. Çalışmanın Amacı.....	31
3.2. Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri.....	31
3.2.1. Çimento.....	31
3.2.2. Agrega.....	32
3.2.3. Su.....	32
3.2.4. Granüle yüksek fırın cürufu.....	32
3.3. Beton Karışımlarının Hazırlanması ve Dizayını.....	33
3.3.1. Sertleşmiş beton numuneleri üzerinde yapılan deneyler.....	35
3.3.1.1. Basınç dayanımı.....	35
3.3.1.2. Klor geçirimliliği.....	36
3.3.1.3. Elastisite modülü tayini.....	37
3.4. Sertleşmiş Beton Deney Sonuçları.....	39
3.4.1. Basınç dayanım sonuçları.....	39
3.4.2. Klor geçirimliliği sonuçları.....	43

3.4.3. Elastisite modülü tayini sonuçları.....	43
BÖLÜM 4.	
SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ ve ÖNERİLER.....	46
KAYNAKLAR.....	51
ÖZGEÇMİŞ.....	53

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

TS	: Türk standartları
CaSO ₄	: Kalsiyum sülfat
H ₂ O	: Su
Ca(OH) ₂	: Kalsiyum hidroksit
SiO ₂	: Silisyum dioksit
Fe ₂ O ₃	: Demir oksit
Al ₂ O ₃	: Alüminyum oksit
CaO	: Kalsiyum oksit
SiO	: Silisyum monooksit
MgO	: Magnezyum oksit
Na ₂ O	: Sodyum oksit
NaCl	: Sodyum klorür
NaOH	: Sodyum hidroksit
K ₂ O	: Potasyum oksit
SO ₃	: Kükürt trioksit
C ₄ AF	: Tetrakalsiyum alüminoferrit
C ₃ A	: Trikalsiyum alüminat
C ₃ S	: Trikalsiyum silikat
C ₂ S	: Dikalsiyum silikat
C-S-H	: Kalsiyum-Silika-Hidrate
PÇ	: Portland çimentosu
Hg	: Civa
V	: Volt
ASTM	: American Society for Testing Materials
E _C	: Elastisite modülü
f _{ctk}	: Betonun karakteristik çekme dayanımı

f_{ck}	: Betonun karakteristik basınç dayanımı
CEM I	: Portland çimentosu
CEM II	: Portland -kompoze çimento
CEM III	: Portland yüksek fırın cürüflü çimento
CEM IV	: Puzolanik çimento
CEM V	: Kompoze çimento
°C	: Celcius derecesi
g	: Gram
Kg	: Kilogram
mm	: Milimetre

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Hızlı Klorür Geçirimsizliği Deney Düzenegi.....	11
Şekil 2.2.	Puzolanların sınıflandırılması.....	13
Şekil 2.3.	Çimento ve mineral katkı.....	19
Şekil 2.4.	Çimento hamur yapıları.....	19
Şekil 2.5.	Doğal puzolanlı harçların dayanımı-dayanım değerleri Portland çimentolu harçların 28 günlük dayanımın yüzdesi olarak ifade edilmiştir.....	21
Şekil 2.6.	Çimentodaki doğal puzolan miktarının normal kıvam için gerekli su miktarına etkisi.....	27
Şekil 2.7.	Cürufu çimentolarda klor permeabilitesi.....	27
Şekil 3.1.	Beton numuneye basınç yükü uygulanması.....	35
Şekil 3.2.	Basınç deneyi presi.....	36
Şekil 3.3.	Klor geçirimsizliği deney aleti.....	37
Şekil 3.4.	Elastisite modülü deney numunesi.....	39
Şekil 3.5.	7 günlük basınç dayanım sonuçları.....	41
Şekil 3.6.	28 günlük basınç dayanım sonuçları.....	41
Şekil 3.7.	56 günlük basınç dayanım sonuçları.....	42
Şekil 3.8.	90 günlük basınç dayanım sonuçları.....	42
Şekil 3.9.	Klor geçirimsizliği deney sonuçları.....	43
Şekil 3.10.	28 günlük sertleşmiş beton numunelerinde elastisite modülü tayini sonuçları.....	44
Şekil 3.11.	56 günlük sertleşmiş beton numunelerinde elastisite modülü tayini sonuçları.....	44
Şekil 3.12.	90 günlük sertleşmiş beton numunelerinde elastisite modülü tayini sonuçlar.....	45

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1.	Türkiye’ de kullanılan çimento tipleri.....	4
Tablo 2.2.	Beton sınıfları ve dayanımları.....	6
Tablo 2.3.	Yüksekliğin kesit boyutuna oranının, dayanıma etkisi.....	6
Tablo 2.4.	Geçen akıma göre klorür geçirimsiliği.....	11
Tablo 2.5.	Sabit PH’lı sülfat çözeltisinde bekletilen çimento pastalarının basınç dayanım kaybı.....	25
Tablo 3.1.	Deneysel çalışmada kullanılan çimentonun fiziksel özellikleri.....	32
Tablo 3.2.	Yüksek fırın cürufunun kimyasal bileşimi (%)......	33
Tablo 3.3.	Deneysel çalışmada her beton karışımı için kullanılan malzeme miktarları.....	34
Tablo 3.4.	Deneysel çalışmada 1m ³ için kullanılan malzeme miktarları.....	34
Tablo 3.5.	Klor geçirimsiliği deney sonuçları.....	37
Tablo 3.6.	Elastisite modülü deney sonuçları.....	38
Tablo 3.7.	Basınç dayanımı deney sonuçları.....	40

ÖZET

Anahtar kelimeler: Beton, Yüksek Fırın Cürufu, Puzolan, Basınç Dayanımı, Elastisite Modülü, Klor Geçirimsizliği

Bu çalışmada, yüksek fırın cürufunun betonun basınç dayanımına, elastisite modülüne ve klor geçirimsizliğine olan etkileri incelenmiştir. Betona karışım esnasında çimento yerine çeşitli oranlarda (%15, %30, %45, %60, %75) yüksek fırın cürufu katılarak 7., 28., 56., ve 90. günlerde laboratuvar ortamında çeşitli deneyler yapılmış ve yüksek fırın cürufu kullanılmayan şahit numune ile bir karşılaştırma yapılmıştır.

Dört 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, 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.

THE SURVEY OF THE EFFECTS OF BLAST FURNACE SLAG ON THE PERFORMANCE OF CONCRETE AND THE PERMEABILITY OF CHLORINE

SUMMARY

Keywords : Concrete, blast furnace slag, pozzolan, compressive strength, the modulus of elasticity, the permeability of chlorine.

In this research, it is searched that the blast furnace slag has an effect on the compressive strength of the concrete, its modulus of elasticity and its permeability of chlorine. During the mix, the blast furnace slag in different proportions (% 15, %30, %45, %60, %75) is added instead of the cement. The various experiments are realized in the laboratory during 7., 28., 56. and 90. days and a comparison is done with the fixed sample in which the blast furnace slag isn't used.

This research is composed of four parts. The introduction and the importance of the subject are emphasized in the first part.

The second part is about the materials forming the concrete and the effects of mechanical features of the concrete.

The aim of this experimental research and the features of used materials are mentioned in the third part. It is told that the values of experiments are composed of tableaux and graphics.

The analyzed outcomes are compared and a general evaluation is done in the last part.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Bu yüzyılın başlarından itibaren puzolanlı (veya katkılı) çimentolar önemli derecede ilgi görmektedir [1]. Aslında, katkılı çimentolar modern toplumun ihtiyaçlarını karşılayan temel bir malzeme olarak tanımlanmaktadır. Katkılı çimentolar hem Portland çimentosunda (veya CEM I' de) olmayan performans özelliklerine sahip olmakta hem de çelik, elektrik ve silikon endüstrisinin ikincil ürünlerinin faydalı bir şekilde kullanılmasına imkân sağlamaktadır. Ancak, değişik kimyasal ve mineralojik bileşenlere sahip katkı malzemelerinin klinkere ilavesi çimento sisteminde önemli ölçüde farklılıklara neden olmaktadır. Bu nedenle farklı çimentolar ile üretilen betonların farklı özelliklere ve performanslara sahip olmaları kaçınılmaz olmaktadır [2].

Betonun değerlendirilmesinde 28 günlük basınç dayanımı önemli bir parametredir. TS EN 197-1 standardı, çimentonun uygunluğunun tespitinde ve dayanım sınıfının belirlenmesinde 28 günlük basınç dayanım değerini esas almaktadır. Maalesef birçok örnek göstermiştir ki, 28 günlük yeterli basınç dayanımına sahip betonlar çoğu zaman tasarım aşamasında maruz kalacağı çevre koşullarının dikkate alınmaması veya yanlış ve yetersiz kür edilme gibi nedenlerle birçok özelliklerini kaybetmektedirler [2]. Görülmektedir ki, kompozit bir malzeme olan betonarmenin olumlu özelliklerini sürdürebilmesi dayanımının yanı sıra kalıcı olmasına da bağlıdır [3]. 2002 yılında kabul edilen ve 2004 yılında yürürlüğe konulan TS EN 206-1 standardı, betonun bulunduğu ortamın göz önünde bulundurulması amacıyla, çevresel etki sınıflaması ve yıpratıcı etkilere karşı dayanıklılık için beton karışımları önerileri getirmektedir. Bütün bu gelişmeler tasarım sırasında, betonun dayanımı ile birlikte betonun bulunduğu dış ortam etkilerinin göz önünde bulundurulması gerekliliğini açıkça ortaya koymaktadır.

Bu çalışmada, puzolanik bir katkı türü olan yüksek fırın cürufunun, imento yerine çeşitli oranlarda kullanılarak hazırlanan beton numunelerinin dayanımına, performansına ve klor geirirnililiğine olan etkileri incelenmiştir.

Bu amaçla yüksek fırın cürufu beş değişik oranda (%15, %30, %45, %60, %75) imento yerine kullanılarak beton numuneleri hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler ise kr havuzunda standart kr etkisine maruz bırakılarak 7., 28., 56., ve 90. günlerde çeşitli deneylere tabi tutularak referans betonla kıyaslanmıştır.

BÖLÜM 2. BETONU OLUŞTURAN MALZEMELER

Beton; çimento, ince agrega, kaba agrega, su ve gerektiğinde de çeşitli kimyasal veya mineral katkıları içeren kompozit bir yapı malzemesidir.

2.1. Agregalar

Mineral kökenli olup boyutları genellikle 100 mm'ye kadar çıkan tanelerden oluşan malzemeye agrega denir. Betonun hacmi bazında %60 - %80'ini, ağırlıkça da 4/5'inin agrega oluşturur. Taze ve sertleşmiş betonun özellikleri, karışım oranları ve maliyet agreganın özelliklerinden önemli derecede etkilenir.

Beton agregası doğal kum ve çakıl karışımlarından, ayrıca yapay kırmataş (mıcır) malzemeden 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 [4].

2.2. Çimento

Çimento, su ile karıştırıldığında, az veya çok akıcı niteliğe kavuşan, sadece suyun etkisiyle priz yapan, katılaştıran ve sertleşen ince taneli malzemedir. Çimento, kimyasal yönden duyarsız çakıl, kırma taş, kum gibi mineral malzemelerin büyük miktarlarda ve değişik oranlarda bir araya gelerek katı bir cisim oluşturmasında bağlayıcılık rolü üstlenir. Teknik ve ekonomik yönden genel eğilim ise ana bileşen olarak Portland klinkeri yanı sıra, puzolanların, yüksek fırın cüruflarının ve termik santral uçucu küllerinin ikincil bileşen olarak kullanılmasıdır.

Çimentonun karışımdaki ana görevi, katılaşacak betona mekanik mukavemetini sağlamaktır. Çimentonun ince taneli dokusunun, kaba yerleştirilmiş betonun yoğunluğunun arttırılmasında ve priz öncesi karışımın işlenebilirliğinde önemli rolü bulunur. Betonun mukavemetinin yükseltilebilmesinde işlenebilirlik ve yoğunluk en önemli iki etkindir.

Portland çimentoları, klinkerin kütlece yaklaşık %3 - %5 oranındaki alçı taşı ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) ile birlikte öğütülmesi sonucu elde edilen katkısız hidrolik bağlayıcılardır. Klinker kompozisyonu ve öğütme inceliği farkıyla PÇ 42,5 ve PÇ 52,5 oluşturulur [4]. Türkiye’ de kullanılan çimento tipleri Tablo 2.1’de verilmiştir.

Tablo 2.1. Türkiye’ de kullanılan çimento tipleri

Esas Tipler	Çimento	Klinker (%)
CEM I	Portland Çimentosu	95-100
CEM II	Portland-Kompoze Çimento	65-94
CEM III	YF Cürüflu Çimento	5-64
CEM IV	Puzolanik Çimento	45-89
CEM V	Kompoze Çimento	20-64

2.3. Su

Beton karışımının üretilmesinde 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 nitelik içilebilir su olmasıdır [4].

2.4. Betonun Mekanik Özellikleri

Beton, basınç dayanımı yüksek, ancak buna karşılık çekme dayanımı düşük olan gevrek bir malzemedir. Betonun çekme dayanımı ile basınç dayanımı arasında yaklaşık 1/10 gibi bir oran vardır. Çok düşük çekme dayanımına sahip olmasından dolayı genellikle hesaplarda dikkate alınmaz. Bu nedenle betonun dikkate alınan en

önemli özelliği basınç dayanımıdır. Yapı elemanlarının servis süreleri boyunca deprem, rüzgar gibi tekrarlanan yüklerin etkisi altında kalacağı göz önüne alındığında betonun gerilme-şekil değiştirme ilişkisinin de bilinmesi gerekmektedir [1].

2.4.1. Betonun basınç dayanımı

Betonun basınç dayanımının belirlenmesinde, beton numunesinin yaşı, boyutları, yükleme hızı ve yükleme türünün önemli ölçüde etkisi vardır. Betonun dayanımının sınıflandırılmasında, üretiminden 28 gün sonra elde edilen dayanım kullanılmaktadır. Betonun standart basınç dayanımının belirlenmesinde 28 gün kirece doygun suda bekletilmiş, çapı 150 mm ve boyu 300 mm olan silindir numunelerin tek eksenli yük altındaki dayanımı olarak tanımlanmıştır. Betonun gerilme cinsinden dayanımı, betonun kırıldığı yükün silindir numunenin kesit alanına bölünmesiyle elde edilir. Elde edilen dayanıma göre beton sınıfı belirlenir [1,2].

Gerek ülkemizde gerekse diğer ülkelerde basınç dayanımının belirlenmesinde 200x200x200 veya 150x150x150 mm'lik küp numuneler de kullanılmaktadır. Silindir numuneler ile küp numunelerin dayanımlarının arasındaki ilişkiyi belirlemek için yapılan araştırmalarda silindir numunelerin dayanımlarının küp numunelerin dayanımlarına oranının ortalama 0.8-0.85 olduğu sonucuna varılmıştır. Ancak bulunan bu değerler yaklaşık değerlerdir ve çevirimlerde %30'lara varan hatalar da olabilmektedir. Tablo 2.2'de beton sınıfları ve silindir numuneler ile küp numunelerinin dayanımları arasındaki ilişki verilmiştir [1].

Tablo 2.2. Beton sınıfları ve dayanımları [2]

Beton Sınıfı	Karakteristik Basınç Dayanımı, f_{ck} MPa	Eşdeğer Küp (150mm) Basınç Dayanımı MPa	Karakteristik Eksenel Çekme Dayanımı, f_{ctk} MPa	28 Günlük Elastisite Modülü, E_c MPa
C16	16	20	1,4	27 000
C18	18	22	1,5	27 500
C20	20	25	1,6	28 000
C25	25	30	1,8	30 000
C30	30	37	1,9	32 000
C35	35	45	2,1	33 000
C40	40	50	2,2	34 000
C45	45	55	2,3	36 000
C50	50	60	2,5	37 000

2.4.1.1. Betonun basınç dayanımına etki eden faktörler

Betonun basınç dayanımına etki eden faktörler olarak beton bileşenleri, beton numunesinin şekil ve boyutları, beton numunesine uygulanan yükleme hızını gösterebiliriz.

Beton dayanımını etkileyen en önemli faktör su/bağlayıcı oranıdır. Bununla birlikte numunenin kuru, deney yapılacak numunenin nem durumu gibi betonun üretilmesinden sonraki koşulların da betonun dayanımına etkisi vardır [1].

Tablo 2.3. Yüksekliğin kesit boyutuna oranının, dayanıma etkisi [1]

Yükseklik / Kesit alanı	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0
Basınç dayanımının, boyu enine eşit bir numune dayanımına oranı	1.0	0.87	0.8	0.75	0.74

Beton numunesinin basınç dayanımının belirlenmesinde, beton numunesinin şekil ve boyutları da önemli rol oynamaktadır. Pres tablası ile numunenin yüzeyleri arasında oluşan kesme kuvvetlerinin etkisi, yükün uygulandığı yüzeyden uzaklaştıkça azalmaktadır. Numunenin yüksekliği arttıkça kesme kuvvetlerinin etkisi kırılmayı daha az etkilemektedir. Numunenin yüksekliğinin, numunenin kesit alanına oranı arasındaki ilişki ile ilgili yapılan araştırmalar sonucunda elde edilen değerler Tablo2.3’de verilmiştir.

Yükleme hızı da deney sonucunda elde edilen dayanım değerini önemli ölçüde etkiler. Betonun dayanımının belirlenmesinde numuneye yüklenen yükün hızının etkisi ile ilgili yapılan araştırmalarda, hızlı yüklenen bir numunenin, yavaş yüklenen numuneye göre daha yüksek dayanımının olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle ülkemizdeki yönetmeliklerde betonun dayanımının belirlenmesi için yapılan deneylerdeki yükleme hızının genellikle 0.1 MPa/saniye olarak verilmektedir [1].

2.5. Betonda Durabilite Kavramı

Betonun durabilitesi kavramı, bir yapının servis süresi boyunca çevresel etkilere karşı dayanıklılığı olarak açıklanabilir. Yapıların uzun ömürlü olması sadece doğru taşıyıcı sistemin seçimi, projelendirilmesi ve imal edilmesine bağlı değildir. Aynı zamanda, yapının mantıklı bir zaman süreci içerisinde kalıcı denecek kadar uzun ömürlü olmasını sağlayacak önlemler alınmalı ve en az bakımı gerektirecek şekilde yaşlanması yavaşlatılmalıdır [5].

Beton, kullanılacağı yapısal sistemin koşullarına göre tasarlanmış ve gerekli kalite kontrol prosedürlerine uyularak hazırlanmış, yerleştirilmiş ve kür uygulanmışsa, servis süresi boyunca hiçbir onarım gerektirmeden görevini yerine getirir. Ancak çeşitli dış ve iç etkiler altında betonun performansının düştüğü durumlar olur. Dayanıklı başka bir deyişle kalıcı bir beton; bu etkilere karşı bozulmadan ve kendisinden beklenen performansı düşürmeden direnç gösteren betondur. Dolayısıyla, betonun durabilitesi mekanik yükler dışında bulunduğu ortamdaki kimyasal ve fiziksel etkilere karşı bozulmadan direnç göstermesi olarak tanımlanabilir.

Söz konusu kimyasal ve fiziksel etkilere örnek olarak; kıyı veya açık deniz yapılarındaki dalga hareketi, donma-çözülme ve ıslanma-kuruma gibi fiziksel nedenlerden ileri gelebileceği gibi asit, klorür, sülfat etkisi, karbonatlaşma betonun içerisindeki çeliğin korozyonu ve alkalisilika reaksiyonu gibi kimyasal nedenler de söz konusudur. Alt yapıda ve binalarda kullanılan beton için üretim sırasında ve kullanımda, ortam koşullarının gerektirdiği önlemlerin alınmaması durumunda durabilite sorunuyla karşılaşılır [5].

Betonun boşluksuz ve geçirimsiz olması durabilite yönünden yararlıdır. Başka bir ifadeyle durabilite ve geçirimsizlik birbiriyle yakından ilgili olan iki olaydır. Beton ne kadar boşluksuz olursa geçirimsizliği de buna bağlı olarak düşük olur; bu da betonarme yapılarda, beton içerisindeki çeliğin kimyasal etkilere maruz kalmadan servis süresi boyunca sağlıklı bir şekilde hizmet vermesini sağlar.

Çimentodan daha ince olan silis dumanı, uçucu kül ve yüksek fırın cürufu gibi puzolanik malzemelerin süper ve hiper akışkanlaştırıcı olarak bilinen yeni nesil akışkanlaştırıcılarla birlikte kullanılması daha dayanıklı betonlar üretilmesine olanak sağlamıştır. Ultra incelikteki malzemeler ve süper akışkanlaştırıcı kimyasal katkıların birlikte kullanılması betondaki su/çimento oranının düşmesini sağlayarak ortaya çıkan artan su ihtiyacı problemini ortadan kaldırmıştır. Betonun durabilitesini ve dayanımını arttıran puzolanik malzemelerin bu olumlu etkilerinin görülebilmesi için kür koşullarına da titizlikle uyulması gerekmektedir [5,6].

2.5.1. Betonun geçirimsizlik özellikleri

Durabilitesi yüksek bir betonarme yapı elde edebilmek için, betonun ve içerisindeki donatının çevresel olumsuzluktan korunması gerekmektedir. Boşluklu bir malzeme olan betonun içinden basınç altında akışkan geçişi doğaldır. Bununla birlikte basınç olmadan da doğal koşullarda kılcal etki nedeni ile su geçirimsizliği meydana gelebilir. Yapının bulunduğu ortama ve kullanım amacına göre su ya da çeşitli zararlı kimyasallar betonun içerisine girerek yapıya zarar verir. Bu tür olumsuzlukların önüne geçmek için kullanılan betonun geçirimsizlik özelliklerinin tespit edilmesi gerekmektedir. Geçirimsizlik su altı yapılarında, su depolarında, beton borularda ve barajlarda çok daha önem kazanmaktadır [7].

Betonda kullanılacağı yerdeki çevresel şartlara göre geçirimsizliği tespit etmek amacıyla kılcal su emme, basınçlı geçirimsizlik, klorür geçirimsizliği gibi deneyler yapılmaktadır.

2.5.1.1. Betonda su geçirimsizliği ve kılcallık

Betonun geçirimsizliği, yalnızca beton gözenekliliğinin bir fonksiyonu olmayıp, gözeneklerin boyutların dağılımına ve şekillerine bağlıdır. Genel olarak, Mehta'nın sonuçları göz önüne alındığında 500° A'den büyük boyutlu gözeneklerin betonun geçirimsizliği, dayanımı ve dayanıklılığı üzerinde etkili olduğu kabul edilmektedir[8]. Sonuç olarak, betonda gözenekliliğin artması kesin olarak geçirimsizliğinde artması anlamına gelmez esas olarak doğal puzolan kullanımıyla gözenekliliğin bir miktar arttığı fakat bu gözeneklerin puzolanik tepkimeler neticesinde zamanla birbirinden kopması nedeniyle geçirimsizliğin azalabileceği söylenebilir. Bu olumlu etkinin elde edilebilmesi elbette uygun kalitede puzolanın uygun miktarlarda kullanımı ile mümkündür [9].

Doğal puzolan kullanımı, geçirimsizliğin azaltılmasında düşük çimento dozajlı betonlarda yüksek dozajlı betonlara göre daha etkilidir. Geçirimsizlik portland çimentosu içeren betonlarda olduğu gibi doğal puzolan içeren betonlarda da kütleme ile azaltılabilir. Hatta uzun süreli kütleme doğal puzolanlı betonlarda yalnızca portland çimentosu içeren betonlara oranla daha etkili bir şekilde geçirimsizliği azaltır [9].

2.5.2. Hızlı klorür geçirimsizliği yöntemi

Betonun içerisindeki donatının korozyona uğramasındaki en büyük etkenlerden biri de klorür iyonlarıdır. Klorür iyonları betonarme yapılarda betonun içerisine girerek ortamın pH'ını düşürür. Ortamın bazikliğinin azalmasıyla birlikte beton içerisindeki donatının etrafındaki koruma tabakası ortadan kalkar ve donatı paslanmaya başlar. Bu şartlar altında yapının servis süresi boyunca istenilen performansı vermesi beklenemez. Bu nedenle durabilitesi yüksek bir beton üretebilmek için, betonun klorür geçirimsizliğinin de mümkün olduğu kadar düşük olması gerekmektedir [10].

Betonun klorür geçirimsizliğinin ölçülmesi için çeşitli deney metotları bulunmaktadır. Bu deney metotlarından bir tanesi de ASTM C 1202 Betonun klorür penetrasyonuna karşı direncinin elektriksel olarak belirlenmesi metodudur [10]. Bu deney metodunda temel alınan düşünce, oluşturulan 60 V'luk potansiyel fark sonucunda klor

iyonlarının betonun bir yüzeyinden girerek diğer tarafa geçebilmesi için betonun diğer yüzeyinden elektron geçmesi gerekliliği ve dolayısıyla akım oluşturmaktadır. Bu deney düzeneği için vakum pompası ve manometreli vakum hücresi, $60 \pm 0,1$ V sabit gerilim sağlayabilecek güç kaynağı, 0,01 Shunt direnci, 90°C sıcaklığa dayanıklı pleksiglas hücreler ve bu hücreler için pirinç halkalar gerekmektedir. Standartta tarif edilen yönteme göre, 90 gün bekletilen 100 mm çapında silindir numune, 50 mm yükseklikte olacak şekilde üç eşit parçaya bölünür. Numunelerin 50 mm yükseklikte olan bölümüne elektrik iletmeyen bir malzeme ile kaplanır ve vakum haznesine konulur.

Vakum haznesinde 3 saat süre ile 1 mm Hg den daha düşük basıncın altında bekletilen numunelerin, kaptaki mevcut basınç değişmeden saf su altında kalması sağlanır ve 1 saat süre ile bu şekilde vakum yapmaya devam edilir. Vakumlama işleminin ardından numuneler 18 ± 2 saat süre ile saf suda bekletilir ve deney aşamasına geçilir. Deney için Şekil 2.1'deki düzeneğe yerleştirilen numunelerin etraflarına çözelti sızıntısının engellenmesi için çabuk kuruyan silikon sürülür ve hücrelerin birine %3'lük NaCl çözeltisi, diğerine %3'lük NaOH çözeltisi doldurulur. İçerisinde NaCl bulunan hücreye (-), diğer hücreye (+) kutuplu uç bağlanır ve 60 voltluk gerilim verilir. Deneyin başladığı anda ilk akım ölçülür ve 6. saate kadar her 30 dakikada bir devreden geçen akım ölçülür [11].

Ölçülen akım değerleri standartta belirtilen formül ile hesaplanır (Formül 2.1);

$$Q = 900 (I_0 + I_{30} + \dots + I_{360}) \quad (2.1)$$

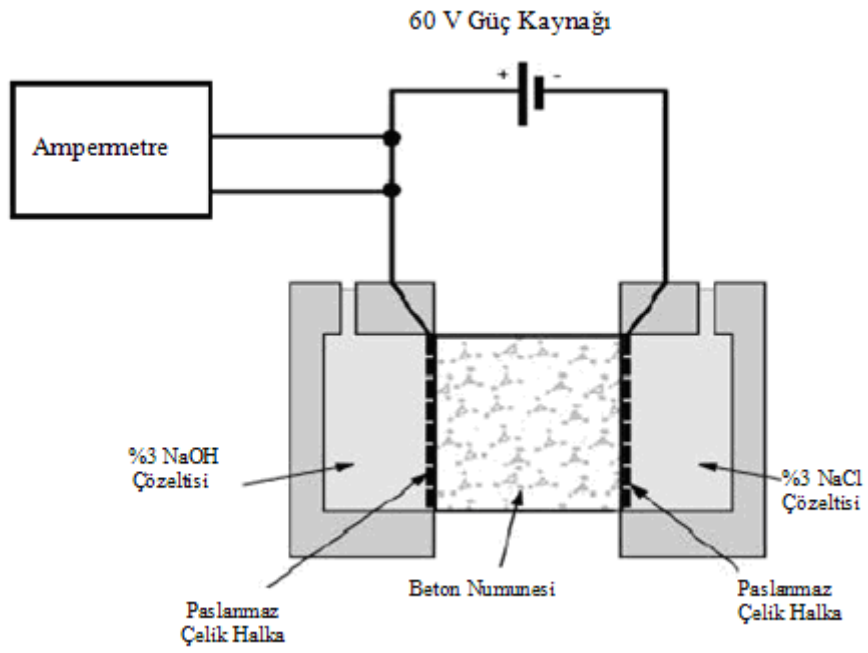
Burada;

Q: Yük (coulomb)

I_0 : Düzeneğe akım uygulandığı anda ölçülen akım (amper)

I_t : Düzeneğe akım uygulanmasından t dakika sonra ölçülen akım (amper)

Deney sonucunda hesaplanan akıma göre betonun klorür geçirimsizliği Tablo 2.4'de verilen değerlerle karşılaştırılarak belirlenir.



Şekil 2.1. Hızlı klorür geçirimsizliği deney düzeneği

Tablo 2.4. Geçen akıma göre klorür geçirimsizliği [11]

Geçen Akım (coulomb)	Klorür Geçirimsizliği
>4.000	Yüksek
2.000 - 4.000	Orta
1.000 - 2.000	Düşük
100 - 1.000	Çok Düşük
<100	İhmal Edilebilir

2.6. Puzolanlar

2.6.1. Puzolanların tanımı

Puzolanlar, silissi ve alüminyum silikatlı veya bunların bileşiminden oluşan doğal maddelerdir. Puzolanlar su ile karşılaştığında kendi kendine sertleşmezler fakat ince öğütüldüğünde ve suyun mevcudiyetinde normal çevre sıcaklığında çözülmüş kalsiyum hidroksitle (CH ; $\text{Ca}(\text{OH})_2$), dayanımı geliştiren kalsiyum silikat ve kalsiyum alüminat bileşikleri oluşturmak üzere reaksiyona girerler. Puzolanlar esasen reaktif silisyum dioksit (SiO_2) ve alüminyum oksit (Al_2O_3)'den oluşmuştur. Geri kalan kısım demir oksit (Fe_2O_3) ve diğer oksitleri ihtiva eder. Reaktif SiO_2 miktarı kütlece %25'den az olmamalıdır [12].

2.6.2. Puzolanların tarihçesi

İnsanların su içinde priz yapabilen, su etkisiyle erimeyen bağlayıcı üretme çabaları çok eski çağlara kadar uzanır. Sorunun kesin çözümü çimento icadı ile mümkün olabilmıştır.

Bununla beraber aktif, camlaşmış silis (SiO_2) içeren toprakların kireçle karıştırılmaları durumunda bu özelliğin kısmen sağlandığı gözlenmiştir. Eski Mısır'da tuğlanın (pişmiş kil) öğütülerek kirece katılması düşünülmüştür. Bu yöntemle elde edilen harca "horasan harcı" denilmektedir. Osmanlılar bu harcı geniş ölçüde ve bilinçli olarak kullanmışlardır. Avrupa'da ise Romalılar Napoli civarındaki Puzzuoli kasabasının toprağından yararlanmışlardır. Puzolan sözcüğü bu kullanımdan kaynaklanmaktadır. Almanlar puzolana "tras" demektedirler, ülkemizde de bu deyim yaygındır ve standartlarımıza geçmiştir [13].

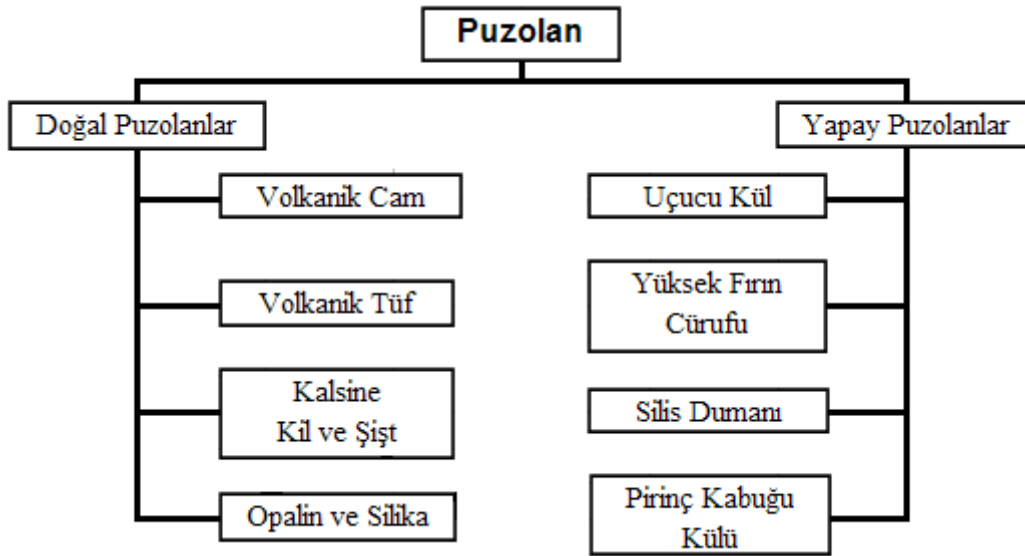
2.6.3. Puzolanların kullanımı

Mineral katkı maddelerinin beton teknolojisinde kullanım yöntemleri puzolanın türüne göre değişebilmektedir. Doğal puzolanlar çoğunlukla katkılı çimento (CEM II/P, CEM II/Q, CEM II/M, CEM IV, CEM V) üretiminde kullanılmaktadırlar.

Yapay puzolanlardan yüksek fırın cürufu ve uçucu kül beton üretiminde iki şekilde kullanılmaktadırlar. Birinci yöntemde puzolan, belirli oranda uçucu kül veya cüruf içeren katkı çimento kullanımıyla betona katılmaktadır ve bu yöntem “birlikte öğütme tekniği” adıyla ifade edilmektedir. İkinci yöntem ise uçucu külün veya ince öğütülmüş cürufun, betona, karıştırma sırasında, çimentoya ilave ya da ikame olarak katılmasıdır ve “ayrı öğütme tekniği” olarak isimlendirilmektedir.

2.6.4. Puzolan çeşitleri

Puzolanlar oluşum şekillerine göre doğal ve yapay olarak iki grupta sınıflandırılabilirler. (Şekil 2.2) [1,14,15]



Şekil 2.2. Puzolanların sınıflandırılması [1,14,15]

2.6.4.1. Doğal puzolanlar

Genellikle uygun kimyasal ve mineralojik bileşimli volkanik maddeler veya tortul kayalardır. Doğal kalsine edilmiş puzolanlar ise volkanik orijinli malzemelerin, killerin, şişterin ve tortul kayaların ısı ile aktifleştirilmesi sonucu meydana gelmektedirler.

Pişmiş şist, özellikle pişmiş yağlı şist özel bir fırında yaklaşık 800 °C sıcaklıkta üretilir. Doğal maddenin bileşimi ve üretim süreci nedeniyle pişmiş şist esas olarak dikalsiyum silikat ve mono kalsiyum alüminat olmak üzere klinker fazlarını ihtiva eder. Aynı zamanda az miktarda serbest kalsiyum oksit ve kalsiyum sülfatın yanında özellikle silisyum dioksit olmak üzere daha yüksek oranlarda, puzolanik reaksiyona giren oksitleri ihtiva eder. Buna göre ince öğütülmüş pişmiş şist, puzolanik özelliklere ilâve olarak, Portland çimentosu gibi belirgin hidrolik özellikleri de gösterir.

2.6.4.2. Yapay puzolanlar

— 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 [16].

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:

a) 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.

b) 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.

— Silissi uçucu kül:

Silissi uçucu kül çoğunlukla puzolanik özelliklere sahip küresel partiküllerden ibaret ince bir toz olup, esas olarak reaktif silisyum dioksit (SiO_2) ve alüminyum oksit (Al_2O_3)'den oluşur. Geri kalan kısım ise demir oksit (Fe_2O_3) ve diğer bileşikleri ihtiva eder. Bu küllerde, reaktif kireç (CaO) oranının %10'dan az, reaktif silis miktarının %25'den fazla olması gerekmektedir.

— Kalkersi uçucu kül

Kalkersi uçucu kül, hidrolik ve/veya puzolanik özellikleri olan ince bir toz olup, esas olarak reaktif kalsiyum oksit (CaO), reaktif silisyum dioksit (SiO_2) ve alüminyum oksit (Al_2O_3)'den oluşur. Geri kalan kısım ise demir oksit (Fe_2O_3) ve diğer bileşikleri ihtiva eder [12]. Bu küllerde, reaktif kireç (CaO) oranının %10'dan fazla, reaktif silis miktarının da %25'den fazla olması gerekmektedir

— Silis dumanı:

Silisyum metalinin veya alaşımlarının elde edilmesi için yüksek saflıktaki kuvars elektrik fırınlarında yaklaşık 2000 °C sıcaklıkta kömürle indirgeme işlemine tabi tutulmaktadır. Bu işlem esnasında büyük bir miktarı SiO'dan oluşan gaz oluşmaktadır. SiO'nun, fırının nispeten soğuk kısmında havadaki oksijenle hızlı bir şekilde soğuması sonucunda, camsı yapıdaki SiO_2 parçacıkları oluşmaktadır. Bu

parçacıklar fiber filtrelerden geçirildikten sonra yoğunlaştırılmış silis dumanı parçacıkları olarak elde edilmektedir [17].

— Pirinç kabuğu külü:

Pirinç kabuğu, çeltik üretimi sonunda elde edilen zirai ürün atığıdır. Pirinç kabuğunun yapısındaki SiO_2 , kabuklar yandıktan sonra elde edilen kül hızlı bir şekilde soğutulursa amorf, yavaş bir şekilde soğutulursa kristal SiO_2 oluşur. Amorf şekilde özgül yüzeyi 50–60 m^2/g gibi büyük bir değerdedir. Bu nedenle puzolanik aktivitesi yüksektir [18].

— Yüksek fırın cürufu:

Yüksek fırın cüruflarının bağlayıcı özelliklere sahip olduğunun belirlenmesiyle birlikte dünyada 19. yüzyılın ikinci yarısından itibaren bu malzemeyi içeren bağlayıcıların ticari olarak üretimine başlanmıştır. Yüksek fırın cüruflarının gerek portland çimentosu hammaddesi gerekse mineral katkı maddesi olarak kullanılması, sırasıyla 1883 ve 1892 yıllarına rastlamaktadır [19].

Cüruflar çeşitli metalürji tesislerinden elde edilen atık madde gruplarından birisidir. Kimyasal kompozisyonları ve özellikleri elde edildikleri sanayi kuruluşlarının ürettiği ana ürün tipine ve üretim yöntemine bağlı olarak birbirinden çok farklılık gösterir. Örneğin, yüksek fırın cüruflarının kendi başına bağlayıcı özelliği olmasına karşın nikel ve bakır cüruflarının yalnızca puzolanik özellikleri vardır [20].

Cürufların çimento ve beton sektörlerinde çok çeşitli kullanım olanakları bulunmaktadır. Konvansiyonel çelik üretim teknikleriyle elde edilen cüruflar kristal yapıya sahip kütleler olarak ortaya çıkar. Bu tür cüruflar ya hiç kullanılmaz ve atılırlar ya da yol malzemesi veya beton agregası olarak kullanılırlar. Buna karşılık, modern teknolojiyle çelik üretimi yapılan tesislerde camsı yapıya ve bir miktar hidrolik özelliklere sahip olan cüruflar elde edilir. Bunları çimentolu sistemlerde kullanmak mümkün olmaktadır. Tüm cüruflar arasında en önemlisi ve en yaygın kullanım alanına sahip olanı yüksek fırın cüruflarıdır (YFC).

— Yüksek fırın cürufu üretimi:

Ham demir üretiminde atık malzeme olarak elde edilen YFC yüksek fırınlarda, daha hafif olmasından dolayı, ham demirin üstünde yer alır. Demir filizi gangi, kok ve kireçtaşının yanma sonrası artıkları YFC' yi meydana getirirler. YFC' nin oluşum sıcaklığı 1400–1600 °C' dir.

YFC yavaş soğutulduğu takdirde kristal bir yapıya sahip olur. Bu haliyle bazalta benzer mekanik özelliklere sahiptir ve beton agregası olarak kullanılabilir. Öte yandan, hızlı soğutma uygulanması sonucunda ise camsı yapıda cüruf elde edilir. Bu tür cüruflar granüle yüksek fırın cürufu (GYFC) olarak adlandırılırlar. GYFC bir miktar hidrolik özelliğe sahiptir [20].

Erimiş haldeki cüruf yüksek fırından çıktığında hızlı olarak soğutulduğu takdirde akışkanlığındaki ani azalma kristal yapılaşmayı engeller ve camsı yapıda bir katı eriyik elde edilmesini sağlar. Bu, yarı-kararlı camsı malzeme sodyum hidroksit veya kalsiyum hidroksit gibi aktivatörler kullanılarak ya da ince öğütülmek ve portland çimentosunun hidrasyonu ile ortaya çıkan Ca(OH)_2 'yi kullanmak suretiyle, hidrolik özelliğe sahip olur. Aktivasyon sonucunda, kalsiyum silikat hidratlar meydana gelir [21].

1862 yılında Emil Largens yüksek fırın cürufunun suyla granülasyonu sonucunda elde edilen malzemenin kireçle karıştırılmasıyla bağlayıcı özelliğe sahip olduğunu gözlemlemiştir [22].

Yüksek fırın cürufunun ani soğutulması için iki yöntem uygulanmaktadır. Bunlardan birincisi Granülasyon Yöntemi, ikincisi ise Peletleme Yöntemi' dir. Granülasyon yönteminde soğutma işlemi için çok miktarda ($100\text{m}^3/\text{ton}$ cüruf) su kullanılması zorunluluğu vardır. Bu işlem sonucunda cürufun içerdiği su miktarı yaklaşık %30 civarındadır. Bu su kurutucu değirmenler veya filtreli havuzlarda cüruftan uzaklaştırılır. Elde edilen GYFC'nin özellikleri bakımından en iyi yöntem olmakla birlikte çok pahalı olması bu yöntemin kullanımını sınırlamaktadır [22].

Öte yandan, Kanada’da geliştirilmiş, daha yeni bir yöntem (Peletleme) daha yaygın kullanım alanı bulmuştur. Bu yarı-kuru süreç erimiş haldeki cüruf önce suyla soğutulur daha sonra dönen (dakikada 300 tur) bir tambur vasıtasıyla havaya fırlatılır. Bu yöntemde kullanılan su miktarı 1 ton cüruf için yaklaşık 1 m^3 ’tür. İşlem sonucunda cüruf içinde kalan su miktarı ise %10’un altındadır.

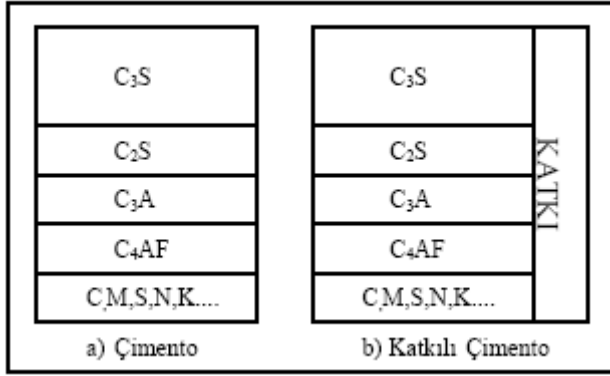
Peletleme yöntemi sonucunda birkaç değişik boyda malzeme elde edilir. Büyük boyutlu (4-15mm) olanlar çok gözenekli ve kısmen kristal bir yapıya sahiptir. Bunlar daha çok hafif beton agregası olarak kullanılabilirler. 4mm’den küçük boyutlu olanlar ise camsı yapıya sahiptirler ve çimento üretiminde katkı maddesi olarak kullanılırlar.

1862 yılında Langens’in YFC’lerin bağlayıcı özelliklere sahip olduğu gözleminin ardından 1865 yılında ilk kez YFC-kireç karışımından elde edilen bağlayıcılar ticari olarak üretilmeye başlamıştır. YFC’nin çimento hammaddesi olarak kullanımı ise ilk kez 1883 yılındadır. Portland çimentosu klinkerini GYFC ile birlikte öğütürük Portland Yüksek Fırın Cürufu çimentosunun üretimi de 1892 yılında Almanya’da başlamıştır [23].

2.7. Çimentoda Puzolan Kullanımının Etkileri

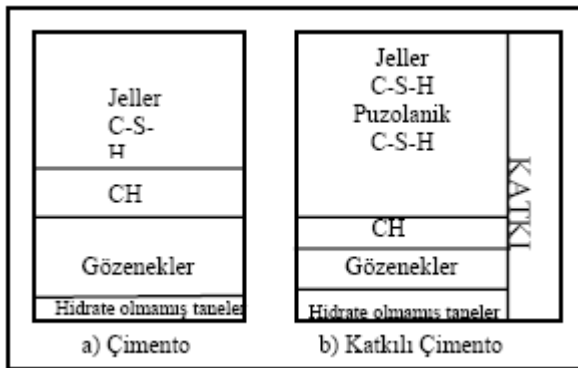
2.7.1. Teknik etki

Mineral katkı kullanımının çimentoya teknik etkisi fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikler bakımından olmaktadır. Örnek olarak Şekil 2.3-a’da katkısız ve Şekil 2.3-b’de katkılı çimentolar ele alınmıştır. Bilindiği gibi Portland çimentosunun %90 kadarı dört karma oksitten oluşmaktadır. Bunlar C_3S ve C_2S olarak belirtilen kalsiyum silikatlar ile C_3A ve C_4AF olarak belirtilen kalsiyum alüminatlardır. Mineral katkıları ise genellikle klinker elde edildikten sonra klinkerle birlikte öğütülerek çimentoya katılırlar. Böylelikle toplam bağlayıcı içindeki dört karma oksidin göreceli miktarları katkı miktarına bağlı olarak azalmaktadır.



Şekil 2.3. Çimento ve mineral katkı [13]

Şekil 2.4-a'da katkısız çimento hamurunun bileşimi gösterilmiştir. Bağlayıcı özellikteki kalsiyum silikat hidrat (CSH) jelleri ile kalsiyum alüminat ($3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$, C_3A ve $4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$, C_4AF) jelleri hamurun yarısından fazlasını oluşturmaktadır, kalsiyum hidroksit (CH) açığa çıkmakta ve gözenekler oluşmaktadır. Katkılı çimentonun hidrasyonu ve özellikleri ise farklıdır. Özet olarak Şekil 2.4-b'de gösterildiği gibi katkılı çimento hamurunda bağlayıcı jeller artmakta, CH ve gözenekler azalmaktadır [19]. Kuşkusuz bu genel etkiler klinker ve katkı özelliklerine bağlı olarak değişebilmektedir. Katkı türünün çimentoya etkisi dayanım ve dayanıklılık yönünden incelenmiştir. Bu konuda yapılan çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.



Şekil 2.4. Çimento hamur yapıları [13]

2.7.1.1. Dayanım

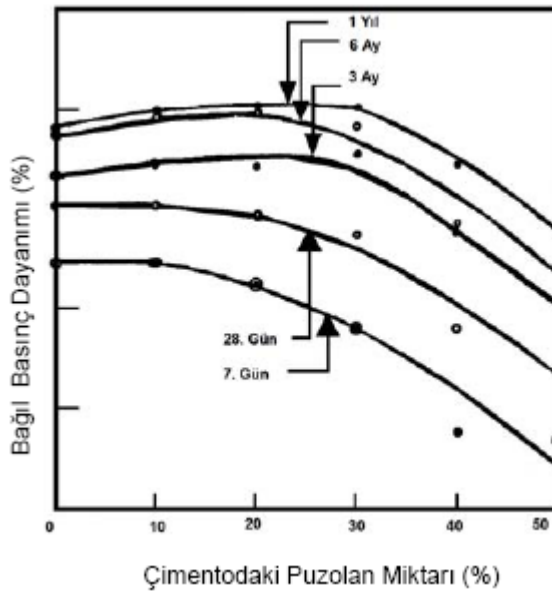
Puzolanlar, betonda, klinkerin hidratasyonundan oluşan Ca(OH)_2 ile tepkime verirler ve bu sebeple betona karışım suyu ilavesinden itibaren bir süre ortamda Ca(OH)_2 birikene kadar Portland çimentosunu seyreltici bir etki yaparlar. Fakat zamanla ortamda Ca(OH)_2 birikmesi puzolanların da sistemin dayanımını artıran etkilerinin ortaya çıkmasını sağlar.

— Doğal puzolanların dayanıma etkisi:

Mehta [20] çimentoya %10, 20 ve 30 oranlarında Santorin doğal puzolanı ikame ederek, harçların dayanım gelişmesini incelediği çalışmasında, oluşan puzolanik tepkimelerin 7. güne kadar dayanımda gelişme yapmadığını tespit etmiştir. Buna karşılık 7–28 günlük süreçte %10 tras içeren çimentolu harçların kontrol numunesinin dayanımını geçtiğini belirtmiştir. 28–90 günlük süreçte %20 tras içeren çimentolu harçlarda puzolanik aktivite daha da belirgindir. %30 tras içeren çimentolu harçlar ise birinci yılın sonunda kontrol numunesi ile yaklaşık aynı dayanımı almıştır [20].

İtalyan doğal puzolanları ile bir başka çalışma Massaza tarafından yapılmıştır. Hazırlanan Portland çimentosu-doğal puzolan harçları için bulunmuş dayanım değerleri Şekil 2.5’de görülmektedir [21].

Sonuçlar bir önceki çalışmayı doğrular niteliktedir. Bu bilgiler ışığında öğütülmüş doğal puzolan ikamesi yapılmış harçların dayanımlarının düştüğü fakat %30 gibi yüksek doğal puzolan ikamesinde bile bir yılda puzolanlı harçların kontrol numunelerinin dayanım değerlerine ulaştığı ve hatta geçtiği görülmektedir.



Şekil 2.5. Doğal puzolanlı harçların dayanımı-dayanım değerleri Portland çimentolu harçların 28 günlük dayanımının yüzdesi olarak ifade edilmiştir [21]

Sonuç olarak, ortalama incelikteki ($3000\text{--}4000\text{ cm}^2/\text{gr}$ incelik) bir puzolan ikamesiyle betonda dayanım kaybının belirli bir süre zarfında yok olabileceği söylenebilir. Bu süre puzolan tipine ve ikame oranına bağlıdır.

Türkiye’deki genel durum trasların harç ya da betonlara doğrudan katılması yerine bu malzemelerin çimento üretiminde kullanılmasıdır. Dolayısıyla Mehta ve Massaza tarafından doğal puzolanlarla yapılan çalışmalar, Türkiye’de doğal puzolanlı çimentolarla üretilen harçlardaki ve betonlardaki durumu tam olarak yansıtmamaktadır. Ülkemizde traslı çimentolarda meydana gelen erken dayanım kayıpları bu tip çimentoların Portland çimentosuna göre daha ince öğütülmesiyle bertaraf edilebilmektedir [20].

— Cürüflü çimentoların dayanıma etkisi:

Cürüflü çimentolar hidratasyon mekanizması ve hidratasyon ürünleri bakımından Portland çimentolarıyla benzer nitelikler göstermekle birlikte, normal incelikte öğütülmüş durumda dayanım kazanma hızı, özellikle erken yaşlarda, Portland çimentolarından daha düşüktür.

Aynı 28 günlük dayanımın elde edildiği, birbirine çok yakın inceliklerdeki (3000 cm²/g) bir Portland çimentosuyla %65 cüruf içeren bir cürufllu çimento karşılaştırıldığında, erken yaşlarda Portland çimentosunun geç yaşlarda ise cürufllu çimentonun daha yüksek dayanıma sahip olduğu bilinmektedir. Durum, betonda incelendiğinde, eğilme dayanımlarının %25–45 cüruf içeren çimentolarla yapılan betonlarda, normal Portland çimentosuyla yapılanlara göre, ya eşit ya da daha yüksek olduğu saptanmıştır. Cürufllu çimentoların uygun erken dayanımlara sahip olabilmesinde, özgül yüzeyleri ve cüruf miktarları önemli birer faktördür [24].

Cürufun klinkere oranla daha zor öğütülebilir bir malzeme olması, birlikte öğütme koşullarında, klinkerin ince cürufun ise daha kaba kalması durumunu ortaya çıkarmaktadır. Aynı öğütme ile elde edilmiş, %30–50 cüruf içeren çimento ile yapılan betonda ise gerek işlenebilirlik gerekse dayanım bakımından önemli artışlar sağlanmaktadır.

- Uçucu küllü çimentoların dayanım özellikleri:

Uçucu küller büyük miktarlarda silika ve alümin içermektedir; çok ince taneli olan bu malzeme amorf yapıya sahip olduğundan puzolanik aktivite göstererek özellikle ileri yaşlarda dayanımı olumlu yönde etkilediği bilinmektedir [16,25].

Sabit su/bağlayıcı oranında değişen katkı miktarlarında uçucu kül katılan harçların dayanımlarının incelendiği bir araştırmada, yüksek, orta ve düşük düzeyde aktivite veren küllerden gelişmiş güzel seçilen üç termik santrale ait küller üzerinde, su/bağlayıcı oranı 0.5 olarak sabit tutulup ve Portland çimentosuna ağırlıkça %10, %20, %30 ve %40 oranlarında uçucu kül ikame edilerek numunelerin basınç dayanımları 7., 28. ve 90. günlerde tespit edilmiştir.

Yapılan deney sonuçlarına göre Soma ve Afşin Elbistan külü tüm yüzde ikame değerleri için referans Portland çimentosu (PÇ)'na göre daha az basınç dayanımı değerleri vermekte ve ikame kül miktarı arttıkça harçların işlenebilirlik değerleri düşmektedir. Buna karşın Orhaneli uçucu külünün %30 ikame oranına kadar referans

Portland çimentosundan daha yüksek basınç dayanımına ve referans Portland çimentosundan daha iyi işlenebilirliğe sahip olduğu görülmektedir.

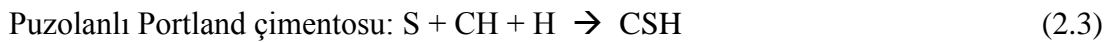
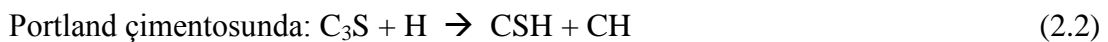
Sabit kıvamda değişik miktarlarda uçucu kül katılan harçların dayanımlarının araştırıldığı bir çalışmada ise yine aynı termik santrallere ait uçucu küllerde yayılma tablası deneyi ile referans PÇ 42.5 çimentosunun yayılma değeri temel alınarak %10, %20, %30, %40 uçucu kül katkılı bağlayıcılarla hazırlanan harçların su/ bağlayıcı (PÇ + uçucu kül) oranları, basınç dayanımları ve numunelerin basınç dayanımlarının referans Portland çimentosunun basınç dayanımına oranları 7. 28. ve 90. günlerde tespit edilmiştir.

Deney sonuçlarında Soma ve Afşin Elbistan uçucu küleriyle hazırlanan harçlarda yüzde ikame değeri arttıkça dayanımlar düşmekte, su ihtiyaçları artmaktadır. Orhaneli uçucu külünde ise %30 ikâme oranına kadar bütün zamanlar için referans Portland çimentosundan daha yüksek basınç dayanımına sahip olmaktadır. Aynı zamanda referans Portland çimentosundan daha az su ihtiyacı görülmüştür [22].

2.7.1.2. Dayanıklılık

Portland çimentodaki trikalsiyum silikat ($3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$, C_3S), dikalsiyum silikat ($2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$, C_2S) hidratasyon reaksiyonu sonunda kalsiyum silikat hidrat (CSH) ve kalsiyum hidroksit ($\text{Ca}(\text{OH})_2$, CH) oluşmaktadır. Çimentoya katılan puzolanlardaki aktif silis ise puzolanik reaksiyon neticesinde CH ile birleşerek çözünmeyen yapıdaki CSH jellerini oluşturmaktadır.

Reaksiyonunun oluşumu, Portland çimentosunda hızlı, puzolanlı çimentolarda ise yavaş seyretmektedir.



Yukarıda her iki reaksiyonda da CSH oluşmaktadır. Ancak puzolanik reaksiyon neticesinde oluşan CSH, Portland çimentosunun CSH'ndan daha küçük özgül ağırlığa sahiptir. Aynı zamanda puzolanın CSH'ı kimyasal ortamda mekanik ve kimyasal özellikler açısından diğerine göre daha dayanıklıdır. Ayrıca CSH'daki C/S oranı puzolanik CSH' da 1.2 iken Portland çimentosunda 1.7'dir [18].

Dış ortam betonu fiziksel ve kimyasal yönden hasara uğratmaktadır. Fiziksel etkenler arasında donma-çözülme, ard arda oluşan ıslanma ve kuruma, yüksek sıcaklık ve yangın etkisi, trafik araçlarının, kum fırtınalarının, deniz, göl ve ırmaklarda meydana gelen dalgaların yaptığı aşınmalar sayılabilir. Kimyasal etkenler ise asitli, sülfatlı, klorlu suların ve atmosferlerin varlığında ortaya çıkmaktadır. Ayrıca beton içyapısında mevcut ve zamanla ortaya çıkan kimyasal öğelerin tahribatı da unutulmamalıdır. Buna örnek alkali-agrega reaksiyonudur. Betonu hasara uğratan nedenlerden bazıları da biyolojik kökenlidir, betona zarar veren aerobik, aneorobik bakteriler, yosunlar mevcuttur [26]. Bütün bu etkiler betonda yüzey aşınması neticesinde kütle kaybına veya çatlamaya yol açarak betonun hasar görmesine sebep olurlar.

Puzolanlı çimentoların zararlı ortamlardaki performanslarını inceleyen araştırmalar aşağıda özetlenmiştir.

— Sülfatlara karşı dayanıklılık:

Uygun tipte puzolanın çimentonun bir kısmının yerine kullanılmasının sülfat dayanıklılığına etkisi üç yolla olmaktadır. İlk olarak, puzolan kullanılması ortamdaki Ca(OH)_2 miktarını azaltacaktır. Böylece sülfatların betona zararlı ürünler oluşturabilmesi için gerekli Ca(OH)_2 ortamdan çekilmiş olacaktır. İkinci olarak, bir kısım çimentonun puzolan ile yer değiştirmesi ortamdaki C_3A miktarını göreceli olarak azaltacaktır. Bu durum yine sülfatların C_3A ile yaptıkları zararlı tepkimelerin azalmasını doğurur. ASTM standartları C_3A içeriği %8 ve altında olan çimentoları sülfata orta seviyede dayanıklı, %5 ve altında olan çimentoları ise sülfata yüksek seviyede dayanıklı olarak tanımlamaktadır. Avrupa'da ise %3 C_3A içeriği birçok ülke tarafından üst sınır kabul edilmektedir. Normal Portland Çimentolarında C_3A

oranı %8–11 arasında değiştiğinden, bu tip çimento ları sülfat etkisinde kalan yapı lar da kullanmak doğru değildir [23]. Üçüncü olarak ise, puzolanlar uygun miktar lar da kullanıldığında betonun geçirimsizliğini artırdıklarından betona sülfat girişini önlerler [26]. Kullanılacak olan puzolan düşük oran lar da CaO içermelidir. Santorin toprağı ile yapılan araştırmalar Tablo 2.5’ de sunulmaktadır. Bu çalışma neticesinde, 28 gün boyunca sülfat çözeltilisinde bekletilen numunelerdeki dayanım kaybının, puzolan miktarının artması ile azaldığı görülmüştür.

Tablo 2.5. Sabit pH’lı sülfat çözeltilisinde bekletilen çimento pastalarının basınç dayanım kaybı [14]

Çimento Tipi	Önceki Dayanım MPa	Sülfat Çözeltilisinde 28 Gün Kaldıktan Sonraki Dayanım MPa	Dayanım Kaybı (%)
Kontrol PÇ	18	6,1	66
%10 Santorin Topraklı Çimento	18,5	9,5	49
%20 Santorin Topraklı Çimento	16,1	12,9	20
%30 Santorin Topraklı Çimento	15,2	12,8	16

Regourd [24] tarafından yapılmış olan bir araştırmada ise çimento sentetik olarak hazırlanmış, %50 C₃S + %15 C₃A + %5 alçı + %30 kuartz içeren numuneler %5 MgSO₄ eriyiğine batırılmıştır. İlk günden başlayarak, numunelerde genleşme gözlenmiş ve yedinci günde tüm numuneler dağılmıştır. Daha sonra bu numuneler X-ışınları difraksiyonu ve tarayıcı elektron mikroskobu kullanılarak incelendiğinde, Mg(OH)₂, CaSO₄.2H₂O, etrenjit ve C-M-S-H oluştuğu saptanmıştır.

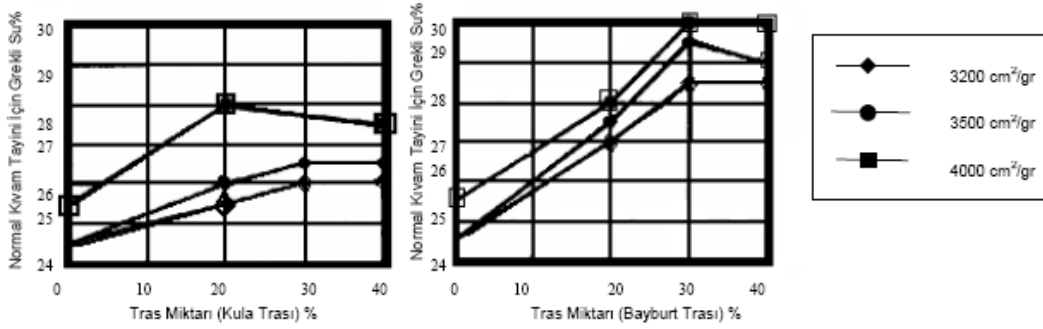
Aynı araştırmada, ikinci seri numuneler kuartz yerine granüle yüksek fırın cürufu (GYFC) kullanılarak hazırlanmış ve aynı koşullara tabi tutulmuştur. Sonuçta, GYFC içeren numunelerde hiçbir bozulma görülmemiştir. X-ışınları difraksiyonu ve tarayıcı elektron mikroskop analizleri bu numunelerde yoğun bir C-S-H, bir miktar Ca(OH)₂, mono sülfat formu ve çok az etrenjit oluştuğunu göstermiştir. Araştırmalardan çıkan bir başka sonuç ise kullanılan cürufun inceliğinin artmasıyla, betonun porozitesini azalttığından dolayı, kimyasal etkilere karşı direncin yükselmesidir [24].

— Klor etkisine dayanıklılık:

Klor etkisi; betonu doğrudan etkilemek yerine, betonun içerisindeki donatıların korozyonuna sebep olması nedeniyle, betonun maruz kaldığı diğer olumsuz şartlardan farklılık gösterir. Klor etkisi altında betonun yapısının bozulması, donatının korozyona uğramasıyla hacminin genişmesine bağlı olarak, donatıyı çevreleyen betondaki çatlaklardan kaynaklanmaktadır. Korozyon, donatının etrafında çimento hidratasyonunun başlamasından hemen sonra kendiliğinden oluşan ve korozyonu önleyen pasif katmanın, betona giren klorun etkisi altında parçalanmasıyla başlamaktadır.

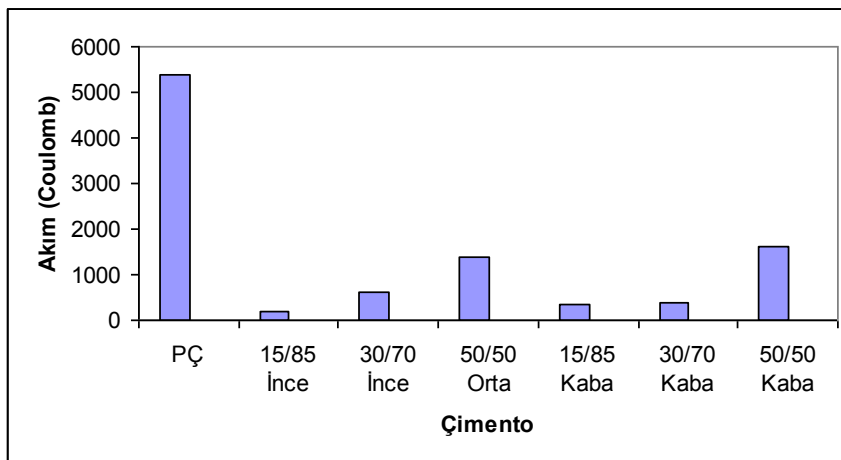
Betona dışardan klor nüfuz etmesi halinde doğal puzolan kullanımı betona klor girişini azaltır. Aynı şartlar altında Portland çimentolu harcın, traslı çimentolu harca göre 5 kat daha fazla klor giriş derinliğine sahip olduğu görülmüştür [20]. Diğer yandan, betona klor girişi ile ilgili genel düşünce, betonun su/çimento oranının dolayısıyla sıklığının kullanılan puzolandan çok daha önemli olduğudur. Bu noktada puzolanın betonun kıvamına ve işlenebilirliğine etkisinin önemi ortaya çıkmaktadır. Bu konu ile ilgili yapılan çalışmalar Portland çimentosu – doğal puzolan karışımının kullanıldığı betonlarda aynı kıvamı sağlamak için gerekli su bir miktar daha fazla olabildiğini göstermektedir. Beraber öğütme tekniği ile üretilen ve Portland çimentosu klinkeri yerine Türkiye'deki iki farklı trasın %20, 30 ve 40 oranlarında kullanıldığı farklı inceliklerdeki çimentoların normal kıvamı üzerine yapılan çalışmada, Şekil 2.6'de sunulan sonuçlar elde edilmiştir.

Buna göre kullanılan doğal puzolanlar için çimentodaki ikame oranı artıkça, normal kıvam için gerekli su miktarı da artmaktadır. Ancak %30 düzeyindeki tras miktarlarından sonra su ihtiyacı kayda değer derecede değişim göstermemektedir. Aynı zamanda puzolanın inceliğinin artışı özgül yüzeyin de artmasına neden olacağından normal kıvam için gerekli olan su miktarı artmaktadır [20].



Şekil 2.6. Çimentodaki doğal puzolan miktarının normal kıvam için gerekli su miktarına etkisi (çimentolar tras ve klinkerin beraber öğütülmesi ile üretilmiştir) [20]

Değişik inceliklerde ve değişik miktarlarda cüruf içeren çimentolar kullanılarak yapılan bir araştırmada, 102 mm çap ve 51 mm boyda silindir harç numuneleri hazırlanmış ve hızlandırılmış klor permeabilite deneyi uygulanmıştır. 14 günlük standart bakımdan sonra numunelerin bir yüzü sodyum klorür (NaCl) diğer yüzü sodyum hidroksit (NaOH) eriyiklerine batırılarak 60 V sabit potansiyel farkı uygulanmış ve bir yüzünden öbürüne geçen elektriksel akım ölçülerek klor permeabilitesi ile ilişkilendirilmiştir. Bu araştırmalarda kullanılan kontrol çimentosu (Portland çimentosu) 0,865 m²/g (BET) kaba cürufllu çimentolar 0,866 m²/g (BET), orta cürufllu çimentolar 1,083 m²/g (BET) ve ince cürufllu çimentolar 1,337 m²/g (BET) inceliktedir. İnce cürufllu çimentolarda ağırlıkça %70 ve %85, orta cürufllu çimentoda %50 ve kaba cürufllu çimentolarda %50,%70 ve %85 cüruf kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar grafik olarak Şekil 2.7'da gösterilmiştir.



Şekil 2.7. Cürufllu çimentolarda klor permeabilitesi [24]

2.8. Betonda Kullanılan Kimyasal Katkılar

Kimyasal katkıları betonun birtakım özelliklerini iyileştirmek amacıyla beton içerisindeki çimento miktarı temel 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.

Beton üretiminde kullanılan kimyasal katkı maddeleri aşağıda belirtildiği şekilde gruplandırılır.

2.8.1. Süperakışkanlaştırıcılar

Süper akışkanlaştırıcılar taze betonun işlenebilirliğini son derece arttırırlar. 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 üreterek 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 sıfıra inmektedir. Süper akışkanlaştırıcı betonların erken yaşlardaki mukavemetleri de yüksek olabilmektedir. Bu betonlar özellikle pompa betonlarında kullanılmaktadır.

2.8.2. Priz süresini değiştiren kimyasal katkılar

Standartlara göre çimentoların bir saatten önce prize başlamamaları, on saatten önce priz olayının bitmesi istenir. Ancak özel durumlarda priz başlama ve bitme sürelerinin değiştirilmesi, sertleşmenin de hızlandırılması istenebilir. Bu istek katkı maddeleri ile sağlanır. Bu katkı maddeleri priz hızlandırıcılar ve priz geciktiriciler olarak ikiye ayrılır. Bu katkı maddelerinin kullanım oranları %0,5 ile %5 arasında değişmektedir. Özellikle ya aylarında, uzun taşıma mesafelerinde priz geciktiriciler, kış aylarında ise priz geciktiriciler kullanılır.

2.8.3. Hava sürükleyici katkılar

Hava sürükleyici katkı maddeleri sertleşmiş betonların donma-çözülme dayanıklılığını önemli ölçüde arttıran maddelerdir. Betonda hava boşluğu, karıştırma sonucu oluşan düzensiz yapıdaki hapsolmuş hava boşluğu, fazla karma suyunun buharlaşması sonucu oluşan hava boşluğu ve özellikle oluşturulan 10~250 mm çapında küresel birbiriyle bağlantısı olmayan hava boşluklarıdır. Bu hava boşluklarının sayesinde betonların donmaya dayanıklılığı artmaktadır. Hava sürükleyici katkı maddeleri taze betonun plastisitesini artırdığından dolayı betonun işlenebilirliği de artmaktadır. Bu katkı maddeleri çimento ağırlığının %0,5-%2

oranında kullanılırlar. Bu katkı maddesinin kullanımı betonun mukavemetini düşürür, kılcal su emmeleri azaltır.

2.8.4. Antifrizler

Bu tip katkıları beton içindeki suyun donma sıcaklığını düşürerek suyun donmasını ve betonun çatlamasını engeller. Ancak soğuk hava şartlarında betona sadece antifriz ilave edilmesi kesin çözüm olmayıp döküm yerinde betonun korunması için özel önlemlerin alınması gereklidir.

BÖLÜM 3. DENEYSEL ÇALIŞMA

3.1. Çalışmanın Amacı

Bu çalışmada yüksek fırın cürufunun betonun basınç dayanımına, elastisite modülüne ve klor geçirimsizliğine olan etkileri incelenmiştir. Bu kapsamda çeşitli ikame oranlarında yüksek fırın cürufu kullanılarak hazırlanan beton numunelerinin laboratuvar ortamında uygun kür koşulları sağlanarak 7., 28., 56., 90. günlerde basınç dayanımı, elastisite modülü tayini ve hızlı klor geçirgenliği deneyleri yapılmıştır.

3.2. Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri

Bu çalışma için üretilen beton karışımlarında çeşitli özelliklerde malzemeler kullanılmıştır.

3.2.1. Çimento

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

Tablo 3.1. Deneysel çalışmada kullanılan çimentonun fiziksel özellikleri

Malzeme	FİZİKSEL ÖZELLİKLER									
	Özgül Ağırlık gr/cm ³	Blanie cm ² /gr	Priz Süresi		Hacim Gen. (mm)	Basınç Dayanımı (N/mm ²)			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

3.2.2. Agrega

Çalışmamızda sırasıyla 1, 2 no' lu mıcır ve 0-3 mm kum kullanılmıştır. Malzeme yoğunlukları aşağı yukarı benzer yoğunluklara sahip (2,72 kg/dm³) Adapazarı civarındaki taş ocaklarından temin edilmiş agregalar ile Sakarya nehrinden çıkarılan dere kumu (2,58 kg/dm³) temin edilmiştir.

3.2.3. Su

Beton yapımında su önemli bir bileşen olduğundan, beton karışım suyunun içilebilecek su olmakla birlikte, 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 kullanılan su, içilebilir özellikte Adapazarı şebeke suyudur.

3.2.4. Granüle yüksek fırın cürufu

Ereğli Demir ve Çelik Fabrikası T.A.Ş. (Erdmir)'nin yan ürünü yüksek fırın cürufu (YFC) kullanılmıştır. YFC' nin kimyasal analiz sonuçları Tablo 3.2' de verilmiştir.

Tablo 3.2. Yüksek fırın cürufunun kimyasal bileşimi (%)

	K.K	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O
YÜKSEK FIRIN CÜRUFU	0	42,21	14,44	0,63	31,88	8,33	0,98	0,16	1,11

3.3. Beton Karışımlarının Hazırlanması ve Dizaynı

Üniform bir beton kalitesini 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 karıştırabilecek ve kullanacağı iş için en küçük çökme değerini verebilecek kapasitede olması gerekir.

Deneysel çalışmamızda kullanılmak üzere hazırlanan 6 farklı beton karışımı 10x10x10 ebatlarında küp kalıplar, 15x30 ve 10x20 silindir kalıplar içerisine yerleştirilmiştir. Bütün beton numuneleri 15 cm slump değerini sağlayacak şekilde üretilmiştir. Her karışım için toplam 40 lt beton üretilmiştir. Beton sertliği sağlandıktan sonra kalıplardan çıkartılarak kür havuzlarına konulmuştur. Kür havuzunda deney anına kadar yaklaşık 23 °C ± 2 °C sıcaklıkta ve doymuş rutubetli kür odasında saklanmıştır. Çalışma için üretilen beton karışım dizaynı Tablo 3.3' de ve Tablo 3.4' de verilmiştir.

Tablo 3.3. Deneysel çalışmada her beton karışımı için kullanılan malzeme miktarları

Karışım	Kullanılan Malzemeler (kg/40 dm ³)					
	Çimento	Kum	1 no'lu Mıcır	2 no'lu Mıcır	YFC	Su
1 NK	16	35,38	20,52	13,68	0	7,13
2 NK	13,6	35,38	20,52	13,68	2,4	7,13
3 NK	11,2	35,38	20,52	13,68	4,8	7,13
4 NK	8,8	34,14	20,52	13,68	7,2	8,335
5 NK	6,4	34,14	20,52	13,68	9,6	8,335
6 NK	4	34,14	20,52	13,68	12	8,335

Tablo 3.4. Deneysel çalışmada 1m³ için kullanılan malzeme miktarları

Karışım	Kullanılan Malzemeler (kg/m ³)					
	Çimento	Kum	1 no'lu Mıcır	2 no'lu Mıcır	YFC	Su
1 NK	400	884	513	342	0	178
2 NK	340	884	513	342	60	178
3 NK	280	884	513	342	120	178
4 NK	220	853	513	342	180	208
5 NK	160	853	513	342	240	208
6 NK	100	853.5	513	342	300	208.375

1NK: Şahit beton numunesi (Yüksek fırın cürufu içermeyen beton)

2NK: % 15 (İçerisinde ağırlıkça % 15 oranında yüksek fırın cürufu içeren beton)

3NK: % 30 (İçerisinde ağırlıkça % 30 oranında yüksek fırın cürufu içeren beton)

4NK: % 45 (İçerisinde ağırlıkça % 45 oranında yüksek fırın cürufu içeren beton)

5NK: % 60 (İçerisinde ağırlıkça % 60 oranında yüksek fırın cürufu içeren beton)

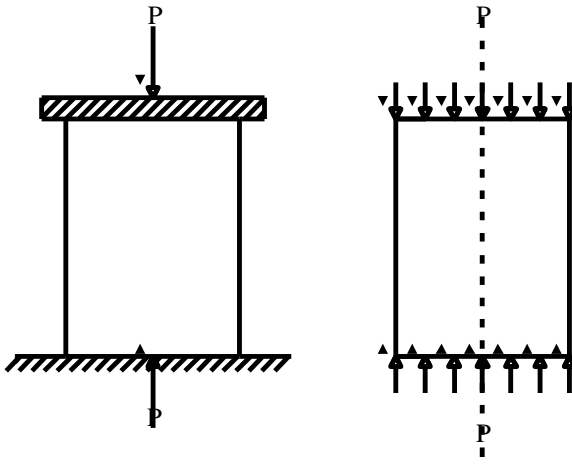
6NK: % 75 (İçerisinde ağırlıkça % 75 oranında yüksek fırın cürufu içeren beton)

3.3.1. Sertleşmiş beton numuneleri üzerinde yapılan deneyler

Sertleşmiş beton üzerinde, betonun çeşitli özelliklerini tespit edebilmek için farklı deney yöntemleri uygulanmaktadır. Bu çalışmada betonun basınç dayanımı, klor geçirimsizliği ve elastisite modülü gibi özelliklerini tespit etmek amacıyla çeşitli deney yöntemleri kullanılmıştır.

3.3.1.1. Basınç dayanımı

Bu yöntemde TS EN 206 beton standartında 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 basınç yükü altında kırılmaya tabi tutulmaktadır (Şekil 3.1)



Şekil 3.1. Beton numuneye basınç yükü uygulanması



Şekil 3.2. Basınç deneyi presi

3.3.1.2. Klor geçirimliliği

ASTM 1202-97 standardına göre yapılan hızlı klorür geçirimliliği deneyi için, 100 mm çapında, 200 mm yüksekliğindeki silindir numuneler kullanılmıştır. Kür süresi olan 90 gün dolduğunda, numunelerin üst ve alt kısımlarından 20'şer mm kesildikten sonra 3 eşit parçaya kesilerek kalınlıkları 50 mm çapları 100 mm olan üç adet silindir elde edilmiş oldu. Kesim işleminin ardından numunelerin etrafı elektrik akımının geçmesini önlemek amacıyla sikaflex-PRO 3 WF Poliüretan mastik ile kaplanmıştır. Daha sonra vakum haznesine konulan numuneler 3 saat süre ile 1 mm Hg den daha düşük basıncın altında bekletildikten sonra haznenin içerisine mevcut basınç değişmeden saf su dolduruldu ve 1 saat süre ile bu şekilde vakum işlemine devam edildi. Vakumlama işleminin ardından numuneler 18 ± 2 saat süre ile saf suda bekletildi. Deney için hücrelere yerleştirilen numunelerin etraflarına, çözeltilerin sızmasının engellenmesi için çabuk kuruyan silikon sürüldü. Silikonun kurummasının ardından hücrelerin birine NaCl çözeltisi, diğerine NaOH çözeltisi dolduruldu ve 60 voltluk gerilim uygulandı. Düzeneğe akım verilmesi ile birlikte ilk ölçüm yapıldı ve 6 saat süre ile her 30 dakikada bir devreden geçen akım ölçüldü. Ölçülen amper değerleri coulomb'a dönüştürülerek sonuçlar elde edilmiştir [11]. Bulunan sonuçlar Tablo 3.5' da verilmiştir.

Tablo 3.5. Klor geçirimliliği deney sonuçları

Numune	Seri 1 (Coulomb)	Seri 2 (Coulomb)	Seri 3 (Coulomb)	Ortalama (Coulomb)
Şahit	2143	2231	2196	2190
% 15 YFC	1938	1879	1942	1920
% 30 YFC	1659	1563	1766	1662
% 45 YFC	1261	1365	1289	1305
% 60 YFC	1346	1009	1243	1120
% 75 YFC	806	797	669	757



Şekil 3.3. Klor geçirimliliği deney aleti

3.3.1.3. Elastisite modülü tayini

Betonda statik elastisite modülü, beton deney numunelerinin elastik bölgede (beton dayanımının $1/3 - 1/5$ değerlerindeki basınç gerilmelerinde) uygulanan kuvvetin oluşturduğu basınç gerilmelerinin numunelerde meydana getirdiği boyuna birim kısalmaya oranıdır (E) . Bu oran elastik bölgede çizilen gerilme deformasyon (birim boy değişimi) doğrusunun eğiminden belirlenir.

Beton numunelerinin elastisite modülü tayini için gerekli boy küçülmesi ölçümleri boy değişimi ölçer aleti ile yapılır. Aletin boyunduruk kısmı alüminyum-magnezyum alaşımından, diğer parçalar paslanmaz çelikten yapılmalıdır.

Her alette iki adet boyunduruk bulunur. Boyunduruk, beton numuneler için $180 \text{ mm} \pm 10 \text{ mm}$ iç çapında ve $30 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$ genişliğinde ve $10 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$ kalınlığında olmalıdır. Numunelerin alete düzgün ve dik olarak yerleştirilmesini sağlamak üzere 2 adet ayak bulunmalı ve boyunduruk üzerindeki özel yerlerine düşey olarak yerleştirilmelidir.

Ayar çubuğu boyu, numune boyundan beton numuneler için $200 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$, karot numuneler için $30 \text{ mm} - 40 \text{ mm}$ daha kısa olmalıdır. Aleti numuneye tespit eden vidalar alt boyundurukta 3, üst boyundurukta 2 adet olmalıdır. Ayrıca yeterli duyarlılıkta ölçüm yapılabilmesi için ölçüm saatinin bulunması gerekmektedir. [27] Bulunan sonuçlar Tablo 3.6' da verilmiştir.

Tablo 3.6. Elastisite modülü deney sonuçları

Elastisite Modülü Sonuçları (MPa)						
Deney Yaşı (gün)	Yüksek Fırın Cürufu Oranı (%)					
	Şahit	15%	30%	45%	60%	75%
28	32419	31612	32068	32135	27605	26875
56	32870	34339	35821	36851	29959	29376
90	33534	35397	36523	37698	30956	29187



Şekil 3.4. Elastisite modülü deney numunesi

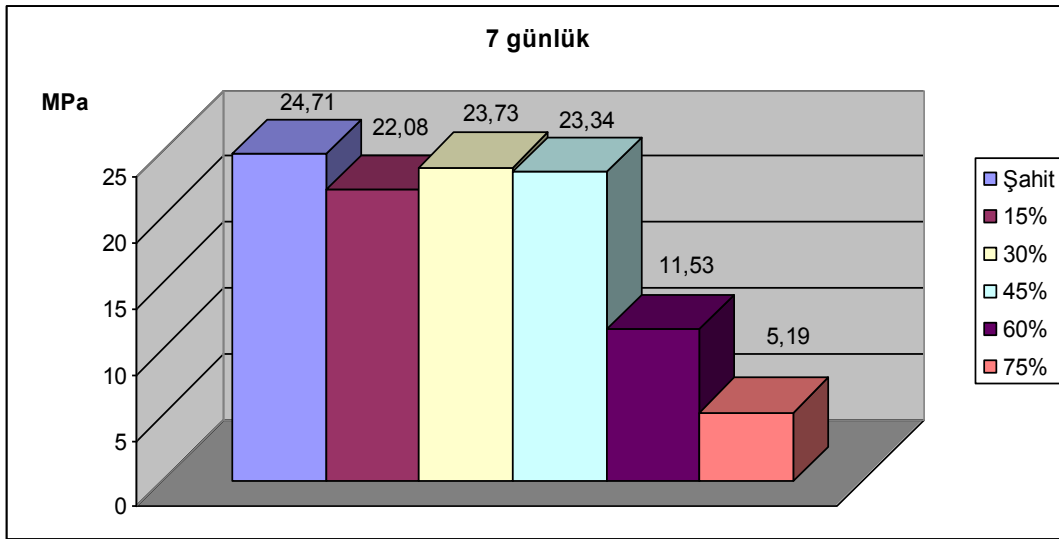
3.4. Sertleşmiş Beton Deney Sonuçları

3.4.1. Basınç dayanım sonuçları

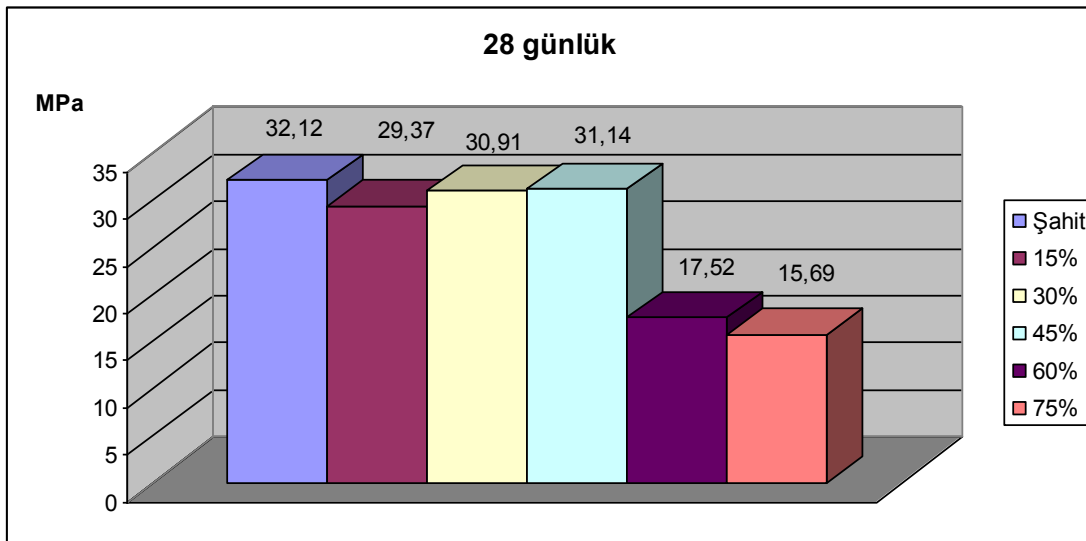
Bu deney için 10x10x10 ebatlarında 72 adet beton küp numunesi hazırlanmıştır. Bu numuneler üçerli gruplar halinde her farklı ikame oranlarında (% 0, % 15, % 30, % 45, % 60, % 75) 7., 28., 56., 90. günlerde deneye tabi tutulmuştur. Deney sonuçları aşağıda Şekil 3.5, Şekil 3.6, Şekil 3.7, Şekil 3.8' de ve Tablo 3.7' de verilmiştir.

Tablo 3.7. Basınç dayanımı deney sonuçları

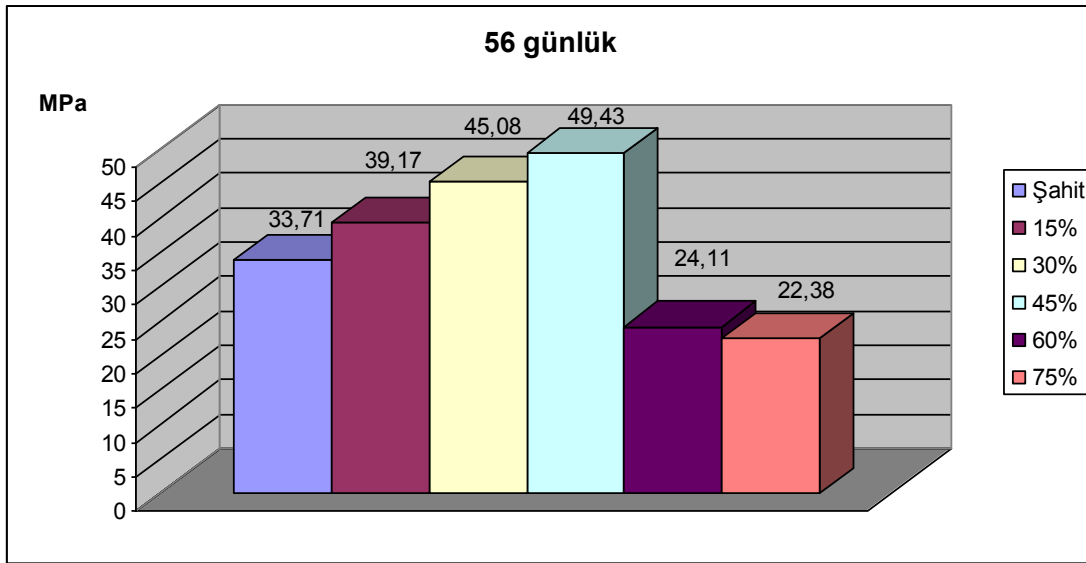
Basınç Dayanımı Sonuçları (MPa)							
Deney Yaşı	Yüksek Fırın Cürufu Oranı (%)						
	Seri	Şahit	15%	30%	45%	60%	75%
7. gün	Numune 1	24,37	19,30	22,62	23,28	8,39	4,91
	Numune 2	25,27	22,43	23,32	21,79	11,93	3,30
	Numune 3	24,50	24,51	25,26	24,95	14,27	7,34
	Ortalama	24,71	22,08	23,73	23,34	11,53	5,19
28. gün	Numune 1	30,39	26,63	28,26	33,22	15,30	15,87
	Numune 2	34,01	29,68	30,37	31,13	19,08	15,38
	Numune 3	31,96	31,79	34,10	29,06	18,19	15,83
	Ortalama	32,12	29,37	30,91	31,14	17,52	15,69
56. gün	Numune 1	32,88	39,52	43,69	48,40	24,85	19,76
	Numune 2	32,19	40,17	43,99	50,37	24,99	23,30
	Numune 3	36,07	37,80	47,56	49,54	22,50	24,09
	Ortalama	33,71	39,17	45,08	49,43	24,11	22,38
90. gün	Numune 1	34,28	41,32	45,73	50,07	28,80	20,35
	Numune 2	35,76	41,54	49,77	51,52	25,97	20,46
	Numune 3	36,28	44,76	45,85	54,89	25,33	23,46
	Ortalama	35,44	42,54	47,12	52,16	26,70	21,42



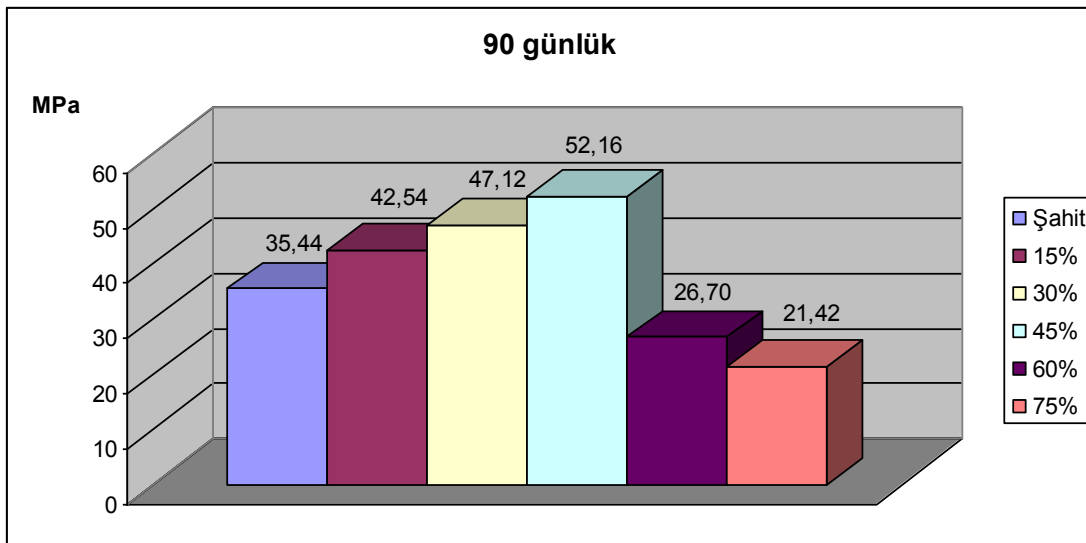
Şekil 3.5. 7 günlük basınç dayanım sonuçları



Şekil 3.6. 28 günlük basınç dayanım sonuçları



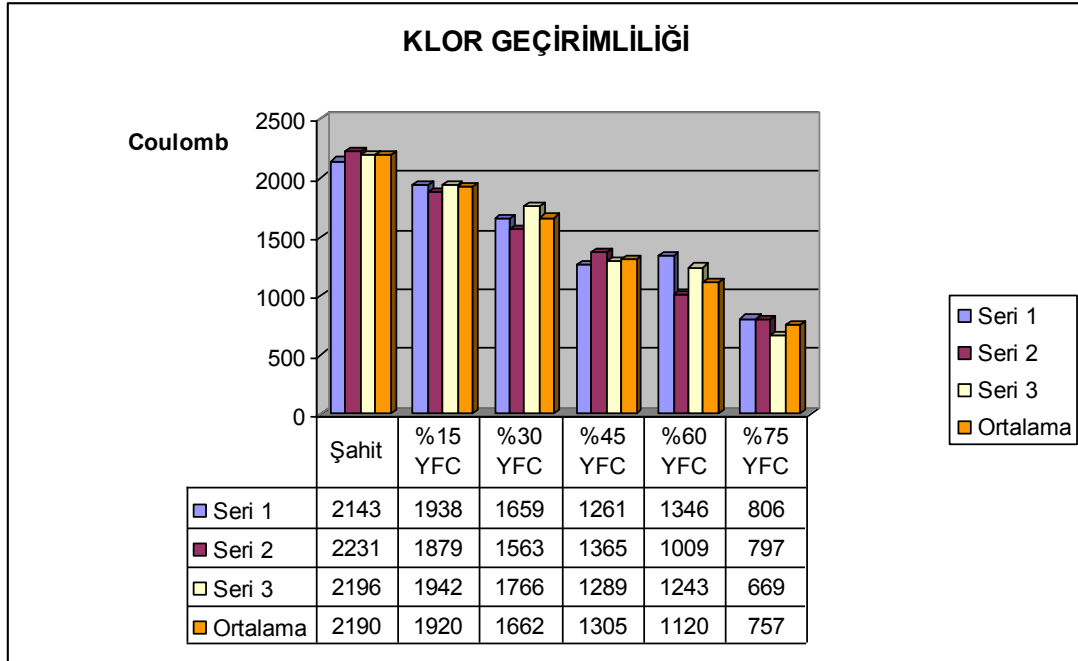
Şekil 3.7. 56 günlük basınç dayanım sonuçları



Şekil 3.8. 90 günlük basınç dayanım sonuçları

3.4.2. Klor geçirimliliği sonuçları

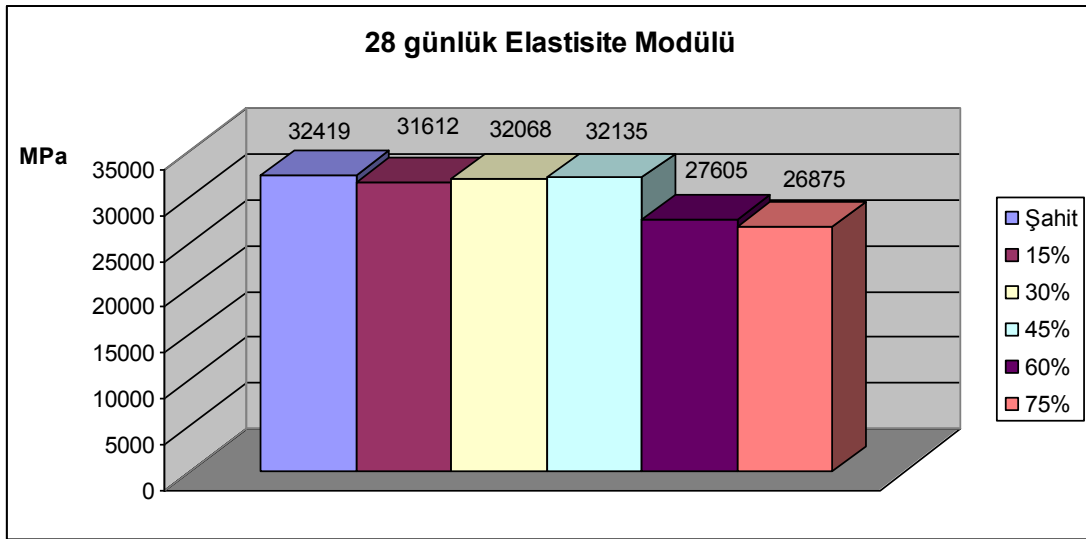
Bu deney için 10x20 ebatlarında 18 adet silindir beton numunesi hazırlanmıştır. Bu numuneler üçerli gruplar halinde her farklı ikame oranlarında (% 0, % 15, % 30, % 45, % 60, % 75) 90. günde deneye tabi tutulmuştur. Deney sonuçları aşığıda Şekil 3.9' de verilmiştir.



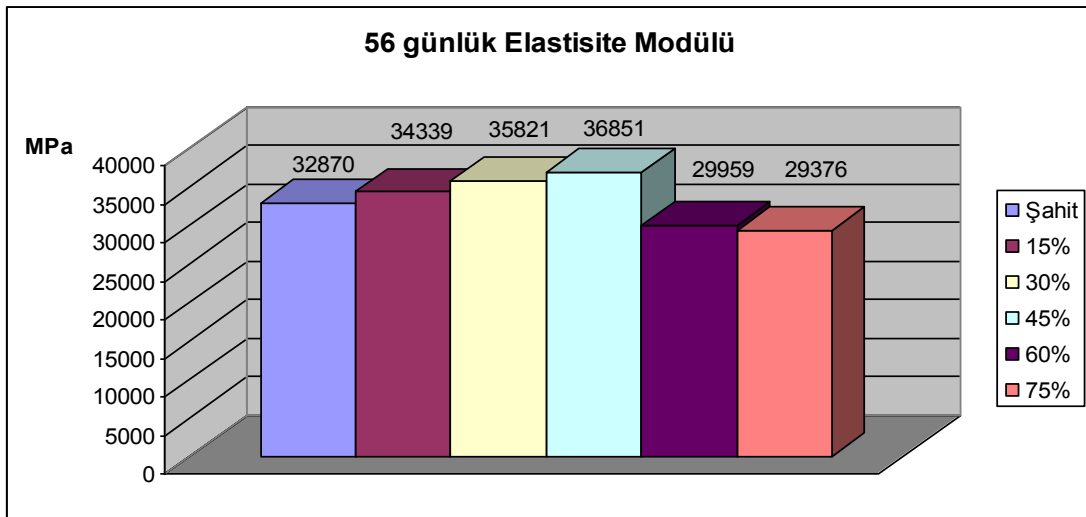
Şekil 3.9. Klor geçirimliliği deney sonuçları

3.4.3. Elastisite modülü tayini sonuçları

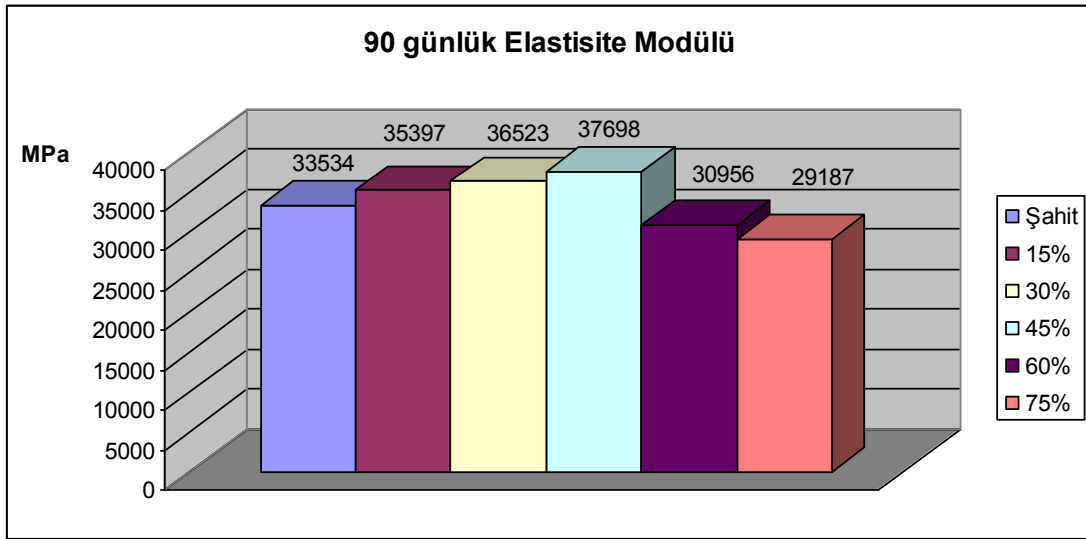
Bu deney için 15x30 ebatlarında 18 adet silindir beton numunesi hazırlanmıştır. Bu numuneler üçerli gruplar halinde her farklı ikame oranlarında (% 0, % 15, % 30, % 45, % 60, % 75) 28., 56. ve 90. günlerde deneye tabi tutulmuştur. Deney sonuçları aşığıda Şekil 3.10, Şekil 3.11, Şekil 3.12' de verilmiştir.



Şekil 3.10. 28 günlük sertleşmiş beton numunelerinde elastisite modülü tayini sonuçları



Şekil 3.11. 56 günlük sertleşmiş beton numunelerinde elastisite modülü tayini sonuçları



Şekil 3.12. 90 günlük sertleşmiş beton numunelerinde elastisite modülü tayini sonuçlar

BÖLÜM 4. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada yüksek fırın cürufunun çimento yerine kullanılarak elde edilen betonların erken ve ileri yaşlardaki basınç dayanımına, elastisite modülüne ve klor geçirgenliğine olan etkileri incelenmiştir. Yüksek fırın cürufu kullanılarak elde edilen betonların servis ömürleri açısından değerlendirilerek uygun ikame oranlarında kullanılabilirlikleri araştırılmıştır.

PÇ 42.5 çimentosu kullanılarak üretilen içerisinde yüksek fırın cürufu bulunmayan şahit beton numuneleri üzerinde yapılan basınç dayanımı, elastisite modülü, klor geçirgenliği deneyleri nihayetinde aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

Şahit numuneleri üzerinde yapılan basınç dayanımı deney sonuçları 7. günde 25.19 MPa, 28. günde 32.74 MPa, 56. günde 34.36 MPa 90. günde 36.13 MPa olarak elde edilmiştir. Elastisite modülü tayini 28. günde 32419 MPa, 56.günde 32870 MPa, 90. günde 33534 MPa olarak elde edilmiştir. Hızlı klor geçirimliliği deney sonucu ise 90. günde 1 no'lu numunede 2143 coulomb, 2 no'lu numunede 2231 coulomb, 3 no'lu numunede 2196 coulomb olarak elde edilmiştir.

PÇ 42.5 çimentosu kullanılarak üretilen içerisinde %15 yüksek fırın cürufu bulunan beton numuneleri üzerinde yapılan basınç dayanımı, elastisite modülü, klor geçirgenliği deneyleri nihayetinde aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

%15 yüksek fırın cürufu kullanılarak üretilen beton numuneleri üzerinde yapılan basınç dayanımı deney sonuçları 7. günde 22.51 MPa, 28. günde 29.93 MPa, 56. günde 39.92 MPa 90. günde 43.35 MPa olarak elde edilmiştir. Elastisite modülü tayini 28. günde 31612 MPa, 56.günde 34339 MPa, 90. günde 35397 MPa olarak elde edilmiştir. Hızlı klor geçirimliliği deney sonucu ise 90. günde 1 no'lu numunede

1938 coulomb, 2 no'lu numunede 1879 coulomb, 3 no'lu numunede 1942 coulomb olarak elde edilmiştir.

PÇ 42.5 çimentosu kullanılarak üretilen içerisinde %30 yüksek fırın cürufu bulunan beton numuneleri üzerinde yapılan basınç dayanımı, elastisite modülü, klor geçirgenliği deneyleri nihayetinde aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

%30 yüksek fırın cürufu kullanılarak üretilen beton numuneleri üzerinde yapılan basınç dayanımı deney sonuçları 7. günde 24.19 MPa, 28. günde 31.50 MPa, 56. günde 45.95 MPa 90. günde 48.03 MPa olarak elde edilmiştir. Elastisite modülü tayini 28. günde 32068 MPa, 56.günde 35821 MPa, 90. günde 36523 MPa olarak elde edilmiştir. Hızlı klor geçirimliliği deney sonucu ise 90. günde 1 no'lu numunede 1659 coulomb, 2 no'lu numunede 1563 coulomb, 3 no'lu numunede 1766 coulomb olarak elde edilmiştir.

PÇ 42.5 çimentosu kullanılarak üretilen içerisinde %45 yüksek fırın cürufu bulunan beton numuneleri üzerinde yapılan basınç dayanımı, elastisite modülü, klor geçirgenliği deneyleri nihayetinde aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

%45 yüksek fırın cürufu kullanılarak üretilen beton numuneleri üzerinde yapılan basınç dayanımı deney sonuçları 7. günde 23.79 MPa, 28. günde 31.74 MPa, 56. günde 50.39 MPa 90. günde 53.17 MPa olarak elde edilmiştir. Elastisite modülü tayini 28. günde 32135 MPa, 56.günde 36851 MPa, 90. günde 37698 MPa olarak elde edilmiştir. Hızlı klor geçirimliliği deney sonucu ise 90. günde 1 no'lu numunede 1261 coulomb, 2 no'lu numunede 1365 coulomb, 3 no'lu numunede 1289 coulomb olarak elde edilmiştir.

PÇ 42.5 çimentosu kullanılarak üretilen içerisinde %60 yüksek fırın cürufu bulunan beton numuneleri üzerinde yapılan basınç dayanımı, elastisite modülü, klor geçirgenliği deneyleri nihayetinde aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

%60 yüksek fırın cürufu kullanılarak üretilen beton numuneleri üzerinde yapılan basınç dayanımı deney sonuçları 7. günde 11.75 MPa, 28. günde 17.86 MPa, 56. günde 24.58 MPa 90. günde 27.22 MPa olarak elde edilmiştir. Elastisite modülü tayini 28. günde 27605 MPa, 56.günde 29959 MPa, 90. günde 30956 MPa olarak elde edilmiştir. Hızlı klor geçirimliliği deney sonucu ise 90. günde 1 no'lu numunede 1346 coulomb, 2 no'lu numunede 1009 coulomb, 3 no'lu numunede 1243 coulomb olarak elde edilmiştir.

PÇ 42.5 çimentosu kullanılarak üretilen içerisinde %75 yüksek fırın cürufu bulunan beton numuneleri üzerinde yapılan basınç dayanımı, elastisite modülü, klor geçirgenliği deneyleri nihayetinde aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

%75 yüksek fırın cürufu kullanılarak üretilen beton numuneleri üzerinde yapılan basınç dayanımı deney sonuçları 7. günde 5.29 MPa, 28. günde 15.99 MPa, 56. günde 22.82 MPa 90. günde 21.84 MPa olarak elde edilmiştir. Elastisite modülü tayini 28. günde 26875 MPa, 56.günde 29376 MPa, 90. günde 29187 MPa olarak elde edilmiştir. Hızlı klor geçirimliliği deney sonucu ise 90. günde 1 no'lu numunede 806 coulomb, 2 no'lu numunede 797 coulomb, 3 no'lu numunede 669 coulomb olarak elde edilmiştir.

Çeşitli ikame oranlarında çimento yerine yüksek fırın cürufu kullanılarak elde edilen betonların 7 ve 28 günlük basınç dayanımlarına bakıldığında yüksek fırın cürufunun belli bir katkı sağlamadığı görülmüştür.

Çimento miktarının düşmesine rağmen 56. ve 90. günlerde basınç dayanımının artmasının sebebi yüksek fırın cürufunun betonun boşluklu yapısını azaltmasıdır. Sonuçlar inceliginde basınç dayanımının 7. ve 28. günlerde şahit numunede, 56. ve 90. günlerde %45 ikame oranında maksimum olduğu görülmüştür. 7. ve 28. günlerde tüm ikame oranlarının şahit betondan daha az dayanıma sahip oldukları görülmüştür.

Bunun nedeni puzolanik özelliğinin olmaması dolayısıyla ilk yaşlardaki beton performansı düşük olabilmektedir. Beklenen durumlardan biri de belli bir ikame oranından sonra çimento miktarının büyük oranda azalması sebebiyle betonun basınç dayanımının düşmesidir.

Puzolanik maddeler, çimentonun hidratasyonu sonucu oluşan Ca(OH)_2 ' yi zamanla bağlayarak bağlayıcılık özelliği kazanırlar. 56. ve 90. günlerde yapılan beton basınç dayanımı ve elastisite modülü tayini deney sonuçları incelendiğinde yüksek fırın cürufunun %45 oranında kullanılmasıyla elde edilen karışımın maksimum basınç dayanımı ve elastisite modülü değerleri verdiği gözlemlenmiştir. Bu sonuçlardan yola çıkarak betonun elastisite modülünün basınç dayanımı ile doğru orantılı olduğu görülmüştür.

Yapılan klor geçirimsizliği deneyi sonuçlarına bakıldığında şahit numunelerin ortalaması 2190 coulomb, %15 yüksek fırın cürufu kullanılarak elde edilen numunelerin ortalaması 1920 coulomb, %30 yüksek fırın cürufu kullanılarak elde edilen numunelerin ortalaması 1662 coulomb, %45 yüksek fırın cürufu kullanılarak elde edilen numunelerin ortalaması 1305 coulomb, %60 yüksek fırın cürufu kullanılarak elde edilen numunelerin ortalaması 1120 coulomb, %75 yüksek fırın cürufu kullanılarak elde edilen numunelerin ortalaması 757 coulomb olduğu görülmüştür. Şahit betonda klorür iyonu geçirimsizliğinin orta düzeyde, %15, %30, %45, %60 ikame oranlarında yüksek fırın cürufu kullanıldığında geçirimsizliğin düşük düzeyde, %75 oranında yüksek fırın cürufu kullanıldığında ise geçirimsizliğin çok düşük düzeyde olduğu görülmüştür. Beklendiği gibi yüksek fırın cürufu kullanımı betonun klorür geçirimsizliğini önemli ölçüde azaltmıştır. Betonun geçirimsizliği yüksek fırın cürufu kullanım oranıyla ters orantılıdır. Yüksek fırın cürufu ikame oranı arttıkça betonun klorür geçirimsizliği azalmaktadır. Bunun sebebi ince taneli yüksek fırın cürufunun betonun boşluklu yapısını azaltıp daha geçirimsiz bir beton elde edilmesini sağlamasıdır.

Sonuç olarak beton üretiminde %45 oranında yüksek fırın cürufu kullanımının betonun mukavemetine, klor geçirimsizliğine ve performansına olumlu katkı sağladığı gözlemlenmiştir. Dolayısıyla beton üretiminde yüksek fırın cürufu kullanımı yapıların servis ömrünün uzamasına katkı sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] MEHTA, P.K., Pozzolanı and Cementitious By-Product As Mineral Admixtures For Concrete: A Critical Review, The Use Of Fly Ash, Silica Fume, Slag And Other Mineral By-Products In Concrete, American Concrete Institute Special Publication SP-79:, ed. V. M. Malhotra., Detroit:, 1-46, 1983
- [2] GÜNEYİSİ, E., Katkılı ve Katkısız Çimentolu Betonların Değişik Kür Koşulları Altında Mekanik Özelliklerinin Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi, Çimento ve Beton Dünyası, 45 (4), 56-73, 2003
- [3] BARADAN, B., YAZICI, S., Betonarme Yapılarda Durabilite ve TS EN 206-1 Standardının Getirdiği Yenilikler, Türkiye Mühendislik Haberleri, 426 (10), 62-69, 2003
- [4] AĞAR, E., ÖZTAŞ, G., Beton Yollar, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul. 1998
- [5] MATHER, B., Concrete Durability, 26, 3-4, 2004
- [6] TAŞDEMİR, C., Combined Effects Of Mineral Admixtures And Curing Conditions On The Sorptivity Coefficient Of Concrete, Cement And Concrete Research, 33, 1637–1642, 2003
- [7] ONARAN, K., Malzeme Bilimi, Bilim Teknik Yayınevi, İstanbul, 2000
- [8] SWAMY R.N., Cement Replacement Materials, Blackie & Son Ltd., Londra, 1986
- [9] Traslar ve Trash Çimentolar, TÇMB/ AR- GE / Y99-2, 5. Baskı, 2003
- [10] SHI, C., Effect Of Mixing Proportions Of Concrete On Its Electrical Conductivity And The Rapid Chloride Permeability Test (ASTM C1202 or ASSHTO T277) results Cement and Concrete Research, 34 537–545, 2004
- [11] ASTM C 1202, Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete's ability to Resist Chloride Ion Penetration, ASTM, U.S.A. 1997
- [12] TS EN 197-1, Çimento- Bölüm 1: Genel Çimentolar-Bileşim, Özellikler ve Uygun Kriterleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 91.100.10, 2002

- [13] AKMAN, M.S., Yapı Malzemeleri, T.C. İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul, Sayı 1408,, 1990
- [14] MASAZZA, F., Pozzolans and Durability of Concrete, 1. International Symposium on Mineral Admixtures in Cement, Turkish Cement Manufactures Association, İstanbul, 1-22, 1997
- [15] HEWLETT, P.C., Lea's Chemistry of Cement and Concrete, John Wiley and Sons Inc., Fourth Edition, New York, 1998
- [16] ERDOĞAN, T.Y., Sorular ve Yanıtlarıyla Beton Malzemeleri, Türk Hazır Beton Birliği, İstanbul, 975-92122-1-8, 2004
- [17] YEĞİNOBALI, A., Silis Dumanı ve Çimento ile Betonda Kullanımı, TÇMB/AR-GE, Ankara, 975-8136-14-3, 2003
- [18] MAZLUM, F., Pirinç Kabuğu Külünün Puzolanik Özellikleri ve Külün Çimento Harcının Dayanıklılığına Etkisi. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 1989
- [19] YEĞİNOBALI, A., Çimentoda Yeni Standartlar ve Mineral Katkılar, Türkiye Mühendislik Haberleri, 426(9), 56-61, 2003
- [20] ERDOĞDU, K., Traslara ve Traslı Çimentolar, TÇMB/AR-GE, Ankara, 975-8136-13-5, 2003
- [21] MASAZZA, F., Chemistry of Pozzolan Additions and Mixed Cements, Proceedings of 6th International Congress on the Chemistry of Cements, Paris, 1980
- [22] TÜRKER, P., Türkiye'deki Uçucu Küllerin Sınıflandırılması ve Özellikleri, TÇMB/AR-GE, Ankara, 975-8136-18-6, 2003
- [23] BARADAN, B., Betonarme Yapılarda Kalıcılık, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, İzmir, 975-441-189-1, 2002
- [24] TOKYAY, M., ERDOĞDU, K., Cüruflar ve Cüruflu Çimentolar, TÇMB/AR-GE, Ankara, 975-8136-03-08, 2003
- [25] POSTACIOĞLU, B., Beton, Bağlayıcı Maddeler, Agregalar, Cilt 1; Bağlayıcı Maddeler, Teknik Kitaplar Yayınevi, İstanbul, 1986
- [26] MORTUREUX, B., Comprasion of Reacticity of the Different Pozzolans, Proceeding of International Congress of Chemistry of Cements, Paris, Vol.4,110-115, 1980
- [27] TS EN 3502, Ankara, Mart, 1981

ÖZGEÇMİŞ

Olçay Karaduman, 11.10.1984 de İstanbul' da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini İstanbul'da tamamladı. Lisans eğitimine 2003-2007 eğitim yılında Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde başladı. 2006-2007 eğitim yılında Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünden bahar yarı yılında mezun oldu. 2007-2008 eğitim yılında Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Malzemesi Anabilim Dalı'nda yüksek lisansa başladı.