



T.C.

BARTIN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İNCE AGREGA YERİNE KULLANILAN GRANÜLE YÜKSEK FIRIN
CÜRUFUNUN BETON ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

HAZIRLAYAN

ANIL ÇAM

DANIŞMAN

PROF. DR. OSMAN GENÇEL

BARTIN-2019



T.C.

**BARTIN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**İNCE AGREGA YERİNE KULLANILAN GRANÜLE YÜKSEK FIRIN
CÜRUFUNUN BETON ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN

Anıl ÇAM

JÜRİ ÜYELERİ

Danışman : Prof. Dr. Osman GENÇEL - Bartın Üniversitesi
Üye : Doç. Dr. İlker TEKİN - Karabük Üniversitesi
Üye : Dr. Öğr. Üyesi M.Yasin DURGUN - Bartın Üniversitesi

BARTIN-2019

KABUL VE ONAY

Anıl Çam tarafından hazırlanan “İNCE AGREGA YERİNE KULLANILAN GRANÜLE YÜKSEK FIRIN CÜRUFUNUN BETON ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ” başlıklı bu çalışma, 04.12.2019 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda oy birliği ile başarılı bulunarak jürimiz tarafından Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Osman GENÇEL (Danışman)

Üye : Doç. Dr. İlker TEKİN

Üye : Dr. Öğr. Üyesi M.Yasin DURGUN

Bu tezin kabulü Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/...../20... tarih ve 20...../.....-..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. H. Selma ÇELİKİYAY
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

BEYANNAME

Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre Prof. Dr. Osman GENÇEL danışmanlığında hazırlamış olduğum “İNCE AGREGA YERİNE KULLANILAN GRANÜLE YÜKSEK FIRIN CÜRUFUNUN BETON ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ” başlıklı yüksek lisans tezimin bilimsel etik değerlere ve kurallara uygun, özgün bir çalışma olduğunu, aksinin tespit edilmesi halinde her türlü yasal yaptırımını kabul edeceğimi beyan ederim.

04.12.2019

Anıl ÇAM

ÖNSÖZ

Yüksek Lisans tezimin bilimsel danışmanlığını üstlenen, konunun belirlenmesinden tezimin sonuçlanması aşamasına kadar deneyimiyle bana destek olan değerli hocam Prof. Dr. Osman GENÇEL' e destekleri ve sabrı için teşekkürlerimi sunarım.

Her konuda benden yardım ve desteklerini esirgemeyen, bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşan çalışmalarım esnasında her zaman yanımda olan Dr. Öğr. Üyesi Muhammed Yasin DURGUN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Her zaman hoşgörüsünü esirgmeden manevi destek veren fedakârlıklarını eksik etmeyen annem Ayşe ÇAM, eşim Doç. Dr. Fatma Bağdatlı ÇAM ve kızım Bilge ÇAM'a sevgilerimi ve sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Anıl ÇAM

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

İNCE AGREGA YERİNE KULLANILAN GRANÜLE YÜKSEK FIRIN CÜRUFUNUN BETON ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

Anıl ÇAM

Bartın Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Osman GENÇEL

Bartın-2019, sayfa: 54

İnşaat sektöründeki gelişime bağlı olarak beton teknolojisi de sürekli gelişim göstermektedir. Son yıllarda endüstriyel yan ürünlerin beton üretiminde kullanılması üzerine birçok araştırma gerçekleştirilmektedir. Bu çalışmada ince agrega yerine endüstriyel bir yan ürün olan granüle yüksek fırın cürufu kullanılmış ve beton özelliklerine etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Bu kapsamda üretilen beton karışımlarında granüle yüksek fırın cürufu ile kum %25, %50, %75 ve %100 oranlarında yer değiştirilmiştir. Deneyleerde kullanılan granüle yüksek fırın cürufunun Kardemir A.Ş.'den temin edilmiştir. Farklı su/bağlayıcı ve cüruf oranlarıyla hazırlanan betonların özellikleri, granüle yüksek fırın cürufu olmadan üretilen kontrol beton karışımlarının özellikleri ile karşılaştırılmıştır. Bu amaçla taze betonda slump, sertleşmiş betonda birim ağırlık, su emme, ultrasonik ses geçiş hızı, basınç dayanımı ve yarmada çekme dayanımı testleri uygulanmış ve elastisite modülü ölçümleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre granüle yüksek fırın cürufu agregası kullanımının mekanik ve fiziksel özellikleri olumsuz etkilediği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Beton; granüle yüksek fırın cürufu; mekanik özellikler; fiziksel özellikler.

Bilim Alanı Kodu: 624.05.01

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

THE EFFECT OF GRANUATED HIGH OVEN SLAG ON THE CONCRETE PROPERTIES USED IN THIN AGGREGATE PLACE

Anıl ÇAM

**Bartın University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering**

Thesis Advisor: Prof. Osman GENÇEL

Bartın-2019, pp: 54

Depending on the development in the construction sector, concrete technology is continuously developing. In recent years, many researches have been executed on the use of industrial by-products in concrete production. In this study, granulated blast furnace slag, an industrial by-product, was used instead of fine aggregate and its effect on concrete properties was investigated experimentally. In the concrete mixes produced in this context, granulated blast furnace slag and sand were replaced by 25%, 50%, 75% and 100%. The granulated blast furnace slag used in the experiments was obtained from Kardemir Inc. The properties of concretes prepared with different water / binder and slag ratios were compared with those of control concrete mixtures produced without granulated blast furnace slag. For this purpose, slump on fresh concrete, unit weight, water absorption, ultrasonic sound transfer rate, compressive strength, splitting tensile strength tests on hardened concrete and elastic modulus measurements were made. According to the results, the use of granulated blast furnace slag aggregate negatively affected the mechanical and physical properties.

Keywords: Concrete; granulated blast furnace slag; mechanical properties; physical properties.

Scientific Field Code: 624.05.01

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL VE ONAY	ii
BEYANNAME.....	iii
ÖNSÖZ.....	iv
ÖZET	v
ABSTRACT	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
TABLolar DİZİNİ.....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xii
KISALTMALAR	xiii
BÖLÜM 1 GİRİŞ	1
1.1 Beton.....	1
1.2 Puzolanlar	8
1.2.1 Puzolanik Reaksiyon.....	8
1.2.2 Puzolanik Aktivite.....	8
1.2.3 Puzolanların Kullanım Amacı.....	9
1.3 Yüksek Fırın Cürufllu Beton	9
1.3.1 Yüksek Fırın Cürufu	10
1.3.2 Yüksek Fırın Cürufllarının Üretimi.....	11
1.3.3 Yüksek Fırın Cürufllarının İnceliği.....	13
1.3.4 Yüksek Fırın Cürufllarının Kimyasal İçeriği	13
1.3.5 Yüksek Fırın Cürufllarının Yapısı.....	13
1.3.6 Yüksek Fırın Cürufllarının Hidratasyonu	14
1.3.7 Yüksek Fırın Cürufllarının Aktivitesini ve Bağlayıcı Özelliklerini Etkileyen Faktörler	14
1.3.8 Yüksek Fırın Cürufllarının Beton Özelliklerine Etkileri.....	15
BÖLÜM 2 LİTERATÜR ÖZETİ.....	16

BÖLÜM 3 MATERYAL VE METOT	24
3.1 Materyal	24
3.1.1 Çimento	24
3.1.2 Agregalar	26
3.1.3 Su	27
3.1.4 Yüksek Fırın Cürufu	28
3.1.5 Kimyasal Katkılar.	29
3.2 Metot	30
3.2.1 Karışım Oranları.....	30
3.2.2 Numunelerin Üretimi	30
3.2.3 Numuneler Üzerinde Yapılan Deneyler	32
3.2.3.1 Slump (Çökme)	32
3.2.3.2 Birim Ağırlık	33
3.2.3.3 Basınç Dayanımı	34
3.2.3.4 Yarmada Çekme Dayanımı	35
3.2.3.5 Su Emme.	36
3.2.3.6 Elastisite Modülü	37
3.2.3.7 Ultrases Geçiş Hızları	38
BÖLÜM 4 BULGULAR VE TARTIŞMA	40
4.1 İşlenebilirlik Deneyi Sonuçlarının Değerlendirmesi	40
4.2 Birim Hacim Ağırlık Deney Sonuçlarının Değerlendirmesi	41
4.3 Ultrasonik Ses Deney Sonuçlarının Değerlendirmesi	42
4.4 Basınç Dayanım Deney Sonuçlarının Değerlendirmesi	43
4.5 Betonların Elastisite Modüllerinin Değerlendirmesi	44
4.6 Betonların Yarmada Çekme Deney Sonuçlarının Değerlendirmesi	45
4.7 Su Emme Değerlerinin Değerlendirmesi	46
4.8 Sem İncelemelerinin Değerlendirmesi.....	47
BÖLÜM 5 SONUÇ VE ÖNERİLER	48

5.1 Genel Sonuçlar.....	48
5.2 neriler	49
KAYNAKLAR.....	51
ÖZGEÇMİŞ	54

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No	Sayfa No
1.1: Yüksek fırın şeması.....	12
2.1: Dünyada dayanım sınıfına göre beton kullanım yüzdeleri	17
2.2: Türkiye'de kullanılan \geq C35/45 dayanım sınıfındaki betonların üretim miktarı.....	18
3.1: Çimento	25
3.2: Çalışmada kullanılan agregalar	27
3.3: Granüle yüksek fırın cürufu	28
3.4: Katkı malzemesi olarak kullanılan süper akışkanlaştırıcı	29
3.5: Beton mikseri	31
3.6: Kür havuzu	31
3.7: Çökme deney çalışmaları	33
3.8: Birim ağırlık deney çalışmaları	34
3.9: Beton basınç cihazı.....	35
3.10: Yarma deneyi ve yanal gerilme dağılımı	35
3.11: Yarmada çekme deneyi	36
3.12: Betonda elastisite modülü deneyi.....	38
3.13: Ultrasonik ses cihazı.....	39
4.1: Betonların işlenebilirlik değerleri.....	40
4.2: Birim hacim ağırlık değişimleri	41
4.3: Ultrases geçiş süreleri.....	42
4.4: Basınç dayanımı değişimleri	43
4.5: Betonların rölatif basınç dayanımı oranları.....	43
4.6: Değişik kuruluşların elastik modül formülleri kullanılarak sonuçların karşılaştırılması.....	44
4.7: Betonların dinamik elastisite modülü varyasyonları.....	45
4.8: Betonların yarmada çekme dayanımı.....	45
4.9: Betonların su emme değerleri	46
4.10: %50 GYFC ikameli beton numunesinden SEM görüntüsü	47
4.11: %100 GYFC ikameli beton numunesinden SEM görüntüsü.	47

TABLULAR DİZİNİ

Tablo	Sayfa
No	No
1.1: Betona ait özellik, performans, imalat ve standartlar	1
1.2: Normal ve ağır beton için basınç dayanımı sınıflandırılması	3
1.3: Agrega deney standartları tablosu	5
2.1: Betonun toplam betona yüzdeliği	16
2.2: Yüksek dayanımlı beton dayanım sınırları	20
3.1: Çimentonun fiziksel ve mekanik özellikleri	24
3.2: Çimentonun kimyasal analiz sonucu	25
3.3: Agregaların elek analizi, Yoğunluk ve Su emme özellikleri	26
3.4: Yüksek fırın cürufunun kimyasal analiz sonuçları	28
3.5: Süper akışkanlaştırıcı katkı maddesinin özellikleri	29
3.6: Beton karışım oranları.....	30

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

σ	: Basınç Dayanımı
$^{\circ}\text{C}$: Santigrat Derece
Al_2O_3	: Alüminyum Oksit
C	: Kalsiyum
C_3S	: Kalsiyum Silikat
$\text{Ca}(\text{OH})_2$: Kalsiyum hidroksit
$\text{Ca}(\text{OH})_2$: Kalsiyum hidroksit
CaCO_3	: Kalsiyum Karbonat
CaO	: Kalsiyum Oksit
CO_2	: Karbon Dioksit
E	: Elastisite Modülü
f_c	: Basınç Dayanımı
F_{ck}	: Karakteristik Basınç Dayanımı
FeO	: Demir Oksit
g	: Gram
g/cm^3	: Gram/santimetreküp
H	: Hidrat
kg/m^3	: Kilogram/metreküp
KOH	: Potasyum hidroksit
m^2/kg	: Metrekare /Kilogram
m^3	: Metreküp
MgO	: Magnezyum Oksit
MnO	: Mangan Oksit
MPa	: Mega Pascal
N/mm^2	: Newton/milimetrekare
NaOH	: Sodyum hidroksit
S	: Kükürt
S	: Silika
SiO_2	: Silikon Dioksit
W	: Birim Ağırlık

KISALTMALAR

ACI	: Amerikan Beton Enstitüsü
ASTM	: Amerikan Test ve Malzeme Kurumu
CEB	: Avrupa Beton Komitesi
NS	: Norveç Standartları
TS	: Türk Standartları
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
YFC	: Yüksek Fırın Cürufu

BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1 Beton

Beton, çimento, agrega ve su homojen olarak karıştırılarak üretilmektedir. Kimyasal ve mineral katkı malzemelerinin gelişimi ile beton teknolojisi de sürekli gelişim göstermiştir. Başlangıçta taze olup zamanla katılaşıp mukavemet kazanan bir yapı malzemesidir Kütle betonu dışında taze betonun sıcaklığı 35 °C'yi aşmamalıdır. Ortalama hava sıcaklık değerleri +5 – 3 °C aralığındayken, kalıba yerleştirilen betonun sıcaklığı 5 °C'den fazla olmalıdır. Sıcaklığın -3 °C'nin altında olması durumunda betonun ortalama sıcaklığı 10 °C'nin üstünde olmalıdır (Uçar, 2015).

Normal, Donatılı ve Öngerilmeli beton yapılar için TS EN 206 ile TS 13515 Standartları, tasarım ve işçilik için standartlar, bileşen malzemeler için standartlar ve deney standartları arasındaki ilişkiyi gösterir. Bunlar Tablo 1.1'de verilen standartlara uygun olmalıdır.

Tablo 1.1: Betona ait özellik, performans, imalat ve standartlar.

Beton- Özellik, Performans, İmalat ve Standartlar	
Deneyler	TSE Standardı
Çimento	TS EN 197-1, TS 21, TS EN14216, TS 13353, TS EN 197-4
Uçucu Kül	TS EN 450-1
Silis Dumanı	TS EN 13263-1
Öğütülmüş Yüksek Fırın Cürufu (ÖYFC)	TS EN 15167-1
Doğal Puzolan- Çimento ve Beton için Tras	TS- 25
Beton, Harç ve Şerbet için Katkılar	TS EN 934-1, TS EN 934-2
Beton Agregaları	TS 706 EN 12620, TS 1114 EN 13055-1

Çimento ve/veya kireç esaslı yapı malzemeleri için pigment	TS EN 12878
Karışım Suyu	TS EN 1008
Betonda Kullanılan Lifler	TS EN 14889-1, TS EN 14889-2

Beton, basınç dayanımlarına göre sınıflandırılmakta olup bunlar normal beton, ağır beton ve hafif beton cinsinde isimlendirilmektedirler. Bu sınıflandırma içerisinde çapları 150 mm ve yükseklikleri 300 mm olan silindir şeklindeki numunelerin 28 günlük karakteristik basınç dayanımları ($f_{ck\ sil}$) veya kenar uzunlukları 150 mm olan küp şeklindeki numunelerin 28 günlük karakteristik basınç dayanımları ($f_{ck\ küp}$) kullanılmaktadır (URL 2, 2013).

1960'lı yıllarda 40 N/mm²'lik dayanımda başlayan yüksek dayanımlı beton kullanımı 1980'li yıllarda 70 N/mm²'ye, 2000'li yıllarda 100 N/mm²'ye ulaşmıştır. Yüksek dayanımlı betonların yapımında çimentoların türleri ve oranlarının önemli olduğu, kullanılan çimento oranının belli bir sınırın üzerine çıkması betonun erken dayanımını etkilemektedir, Beyaz çimentolu karışımlar normal çimentolu karışımlarla karşılaştırıldığında betonun 28 günden sonraki dayanımında daha hızlı bir artış sağladığı ayrıca deney yapılan numuneler incelendiğinde kırılmaların agregalardan olduğu gözlemlenmiş bu bağlamda ise yüksek dayanımlı beton üretimlerinin yüksek mukavemet gösteren agregaların kullanılmasıyla elde edilebileceği görülmüştür (Yılmaz-Sümer-Uysal, 2005).

Betonda dayanımların artması betonarme ölçülerinin küçülmelerine ve daha geniş açıklıkları geçmeye olanak verebilmektedir. Yüksek betonarme yapıların yaygınlaşması da yüksek dayanımlı betona olan ihtiyacı çoğaltmıştır. Çevresel etkilere dayanıklılığından yapının ömrünü uzatabilmektedir. Ancak Türkiye'deki beton standartlarının mevcut durumu Yüksek dayanımlı betonun yapısal tasarımını içermediğinden yaygın olarak kullanılmasının önündeki en büyük engeldir.

Betonlar TS EN 206'da normal betonların veya ağır betonların karakteristik basınç dayanım sınıfları C50/60'dan daha yüksek olarak, hafif betonların karakteristik basınç dayanım sınıfları L50/60'dan daha yüksek olarak tanımlanmaktadır (Fırat ve Ağca, 2012).

Betonların basınç dayanımları betonları tanımlamada ve sınıflandırmada kullanılan parametredir. Basınç dayanımları silindir ve küp şekilli deney numunelerinin 28 gün kür havuzunda bekletilmesinden sonra TS 3068'e uygun olarak deney yapılmasıyla gerçek sonuçlar sağlanır. TS EN 206-1 (2002)'de ağır ve normal betonların basınç dayanımlarına göre Tablo 1.2'de de görüldüğü gibi 8 MPa'dan 100 MPa'ya kadar sınıflandırılmışlardır.

Tablo 1.2: Normal ve Ağır Beton İçin Basınç Dayanımı Sınıflandırılması.
(TS EN 206-1 (2002))

	Basınç dayanımı sınıfı	En düşük karakteristik silindir dayanımı $f_{ck,sil}$ N/mm ²	En düşük karakteristik küp dayanımı $f_{ck,sil}$ N/mm ²
	C8/10	8	10
	C12/15	12	15
	C16/20	16	20
Normal Dayanımlı Betonlar	C20/25	20	25
	C25/30	25	30
	C30/37	30	37
	C35/45	35	45
	C40/50	40	50
	C45/55	45	55
Yüksek Dayanımlı Betonlar	C50/60	50	60
	C55/67	55	67
	C60/75	60	75
	C70/85	70	85
	C80/95	80	95
	C90/105	90	105
	C100/115	100	115

18.03.2018 tarihinde "Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği" yayınlanmış olup önceki yönetmelikler yürürlükten kaldırılmıştır. Betonarme binalarda kullanılan beton

sınıflarından C80'den daha yüksek olan betonların kullanıldığı betonarme binalar bu yönetmeliğin kapsamına dahil değildir. Beton sınıfı C50'den daha yüksek betonların kullanılması halinde kesitlerin eğilme momenti ve eksenel yük altındaki taşıma gücü hesaplarında betonlarda oluşan gerilme dağılımı ve elastisite modülü TS EN 1992-1'de gösterildiği gibi kullanılmalıdır. Söz konusu yönetmelik kapsamına uygun olarak yapılması zorunlu olan tüm betonarme binalarda C25'ten daha düşük dayanımlı beton kullanımı olmayacaktır. Deprem etkisine karşı koyabilecek betonarme elemanlarda; TS EN 206'da gösterilen beton sınıflarından C25 ile C80 arasında bulunan beton sınıflarına uygun betonların kullanılması gerekmektedir. Donatısız olarak yapılan yığma binalarda, donatılı olarak yapılan yığma binalarda, kuşatılmış yığma binalarda ve donatı kullanılan panel sistemli binalarda kullanılan beton sınıfı minimum C25 olması gerekmektedir (Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, 2018).

Betonun toplam hacmini %70-80 oranında agregalar oluşturmaktadır. Bu nedenle betonun fiziksel, mekanik, ısı ve durabilite karakteristiklerine etki eden en önemli parametrelerinden birisi agrega karakteristikleridir. Beton imalatı gerçekleştirilirken doğal kaynaklardan alınan ve yaygın olarak kullanılan kırma taş doğal agregalar, dere kumu ve agregaları kullanılmaktadır. Bu ise doğal kaynakların azalmasına neden olmakta çevreye tahribat yapmakta bu bağlamda ekolojinin değişmesine neden olmaktadır. 2017 yılı verilerine göre ülkemizde 115 milyon m³ dünyada 795 milyon m³ beton imalatı gerçekleşmiştir. Bu beton imalatının yukarıda belirtildiği üzere çok büyük kısmını agregalar oluşturmaktadır.

Kullanılacağı alan ve önemine göre agregalar bazı özellikleri (granülometri, tane şekli, tane dayanımı, aşınma direnci, dona dayanıklılığı ve zararlı maddeler) bakımından TS 706 standardı kriterlerinde olmalıdır. Dış etkenlerle yumuşamamalı, dağılmamalı, çimentonun bileşenleri ile zararlı bileşikler meydana getirmemeli ve içerikleri bakımından donatının korozyona karşı etkisini değiştirmemelidir. Agrega taneleri, betonun istenilen özelliğine ve dayanımına uygun olacak şekilde dayanıklı olmalıdır. Nitekim agregalar betonlara taşıyıcı ve dayanım özelliğini kazandıran malzemelerdir. Bu nedenlerden dolayı tane yoğunluğu 2,60 g/cm³'ten düşük ve Su emme miktarı %1'in üstündeki malzemelerde dayanım yönünden sorunlar olduğu görülmüştür (Eroğlu, 2008).

Agregalar kullanma yeri ve amacına göre, granülometrik bileşim, tane şekli, tane dayanımı,

aşınma direnci, dona dayanıklılığı ve zararlı maddeler bakımından TS 706 standardına uygun olmalıdır. Agregataneleri, betonların kullanım yerlerine göre istenilen sınıfların elde edilebilmesi için istenilen kadar dayanıklı olmalıdır. Agregalar beton malzemeye taşıyıcı özeliğini kazandıran malzemelerdir. Tane yoğunluğu 2,60 g/cm³'ten düşük ve Su emme miktarı %1'in üstündeki malzemelerde mukavemet açısından sorunlar yaşandığı bilinmektedir.

Betonun ömründe agregaların nitelik ve nicelikleri önemli bir faktördür. Betonların mekanik ve fiziksel özelliklerini agregaların nitelikleri belirler. Beton üretiminde kullanılan agregalar betonun dayanımını doğrudan etkilediğinden agregaların Tablo 1.3'de belirtilen TSE standartlarına uygun olması gerekmektedir (Baradan vd.,2012).

Tablo 1.3: Agregat Deney Standartları Tablosu.

Agregat Deney Standartları Tablosu	
Deneyler	TSE Standardı
Tane Şekli	TS- 3614
Tane Dayanımı	TS- 3694
Dona Dayanıklılık	TS- 3655
Alkali Agregat	TS- 3332; TS- 2517
Hafif Maddeler	TS- 3528
Organik Kökenli Maddeler	TS- 3673

Betonun hacminin en büyük oranı agregalar olduğu için agregalarda geri dönüşümden veya endüstri atıklarından faydalanmak çevreci ve ekolojinin dengesini koruyan yaklaşım olacaktır. Bir endüstrinin atığı diğer bir endüstrinin hammaddesi olabilmektedir. Endüstriyel atık olan granüle yüksek fırın cürufunun beton imalatında doğal agregat yerine kullanılması çevreye verilen zararın azaltılması, atık malzemenin geri kazanılması ve ülke ekonomisine artı olarak dönmesi sağlanabilecektir.

Demir çelik endüstrisi ülkelerin gelişmişliğini ve kalkınma düzeyini gösteren en önemli faktörlerden biridir. Ülkemizde kullanabileceğimiz her türlü demir çelik endüstriyel

ürünlerinin üretimi yapılmakta olup dünyadaki üretim sıralamasında da ilk sıralarda yer almaktadır. Hammadde olarak belirli düzeyde olan ülkemizde demir çelik endüstrisi atık maddelerinin de ekonomiye kazandırılması sürdürülebilirlik ve ekonomimizin etkin, verimli kullanılması bakımından da son derece önemlidir. Atıkların ve yan ürünlerin depolama veya çevreye bırakılması çevre sağlığına ve doğaya geri dönüşü olmayan zararlar verecektir. İçerdiği demir oranı çok az olduğu için demir elde etmek yerine çimento sektörü, inşaat sektörü ve ziraat sektörlerinde kullanılması çok daha fayda sağlayacaktır. Dünyamızın geleceği için doğal kaynaklarımızın korunması, bu bağlamda da beton üretiminde kullanılan agregaların miktarının azaltılması önem arz etmektedir. Bu nedenle de demir çelik endüstrisi yan ürünü olan GYFC'nun ince agrega yerine kullanılabilirliği son derece önemlidir.

Doğal kaynakların korunarak endüstriyel atıkların ve yan ürünlerin azaltılması dünyamızın sürdürülebilirliği için son derece önemli olduğundan bu konularda çeşitli atık yönetimi ile ilgili mevzuatlarda geliştirilerek güncellenmektedir. Doğal kaynakların sınırlı, ihtiyaçların dünya var oldukça devam edeceği düşünüldüğünde atıkların ve yan ürünlerin geri dönüşüm konusu birçok sektörde araştırılmaktadır. İnşaat sektöründe yapı malzemesi olarak kullanılacak atık ve yan ürünlerin puzolanik malzemelere benzer, devamlılığı olan rahat bulunabilecek olması kullanılabilirliği arttıracaktır. Bunlar araştırılırken ekonomik olarak artmaması verim olarak da performanslarının düşmemesi kritik çizgiler olmalıdır.

Türkiye Çelik Üreticileri Derneği verilerinde çelikhane cüruf miktarı ton ham çelik başına 150 ile 200 kg arasında olduğu belirtilerek, Türkiye genelinde 2014 yılında 5,4 milyon ton civarında çelikhane cürufu açığa çıktığı raporlanmıştır (URL 3, 2015).

Açığa çıkan cürufun sürekliliği bulunduğundan inşaat sektörünün çeşitli dallarında kullanılacağı görülmektedir. Cüruflar öğütülerek çimento üretiminde kullanılacağı gibi çimento ile birlikte ikame oranları değiştirilerek betonda kullanılacaktır. Ayrıca doğal olarak da ince agregalarla ikame edilerek de yine beton endüstrisinde kullanılacaktır.

Yüksek fırın cürufları (YFC) demir çelik endüstrisinin yan ürünü olup, demir çelik üretim tesislerinde yüksek fırınlarda demirin üretimi sırasında elde edilmektedir. Yüksek fırın cürufları demir filizi, kok, kireç gibi maddelerin 1450°C 1550°C gibi yüksek sıcaklıklarda

indirgenmesi sürecinde oluşmaktadır. Cürufların kimyasal bileşimleri, hammaddelerin beslenmesine ve ergitme işlemlerine dolayısıyla demir çelik üretimine bağımlıdır. Elde edilen cürufun ölçüsü kullanılan malzemeye endekslidir. Oluşan cüruf ağırlıkça %0.5-0.8 FeO, %35-42 CaO, %35-40 SiO₂, %8-9 MgO, %8-15 Al₂O₃, %0.3-1.0 MnO ve %0.7-1.5 S içermektedir. Betonun fiziksel ve mekanik özelliklerine yüksek fırın cürufunun olumlu yönde katkı sağladığı görülmüştür (Reuter vd., 2004).

Öğütülerek çok ince taneli duruma getirildiklerinde yüksek fırın cürufları puzolanik özellik göstermekte olup, betonun içine öğütülmüş olarak granüle yüksek fırın cürufu katılması, taze ve sertleşmiş betonun özelliklerini olumlu anlamda iyileştirmekte, betonun çevre koşullarına karşı hiç cüruf içermeyen normal bir betondan daha dayanıklı olmaktadır. Bugüne kadarki yapılan çalışmalarda, cürufun katkısının, korozyon dayanıklılığı, durabilite, geçirgenlik, işlenebilirlik ve mukavemet gibi beton karakteristiklerini geliştirdiğini göstermektedir (Babu vd., 2000).

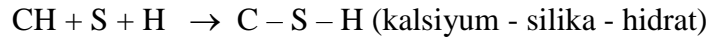
Cüruf katkısının artması özellikle düşük su/bağlayıcı oranındaki betonlarda işlenebilirliği arttırmakta ve katkı dozajında ise azaltma sağladığını göstermiştir. Bu durumun nedeninin, granüle yüksek fırın cüruflarının klinkere kıyasla daha az yüzey pürüzlülüğüne ve daha düşük özgül ağırlığa sahip olması ve bu nedenle de, ilave edilen cürufun kapladığı yüzey hacim olarak daha fazla bağlayıcı hamur gazı elde edilmesine olanak sağlayarak işlenebilirliği artırdığından dolayı olduğu düşünülmektedir. Kür şartlarının etkisi araştırıldığında ise ıslak kür edilmiş beton numunelerinin, kuru kür edilmiş beton numunelerine göre dayanımları daha yüksek olmakta ve aşınma dirençlerinin de daha yüksek olduğu görüldüğünden içerisinde cüruf bulunan numuneler şahit numunelere göre kür şartlarından daha fazla etkilendiği gözlemlenmiştir. Ayrıca, karışım içerisinde yer alan yüksek fırın cürufunun miktarının arttırılmasıyla kuru kür şartlarının etkisi daha fazla artmakta olduğundan, yüksek oranda su/bağlayıcı miktarına sahip betonların dayanım ve aşınma değerlerinde ıslak küre kıyasla daha fazla düşüşler meydana getirdiği görülmektedir (Bilim-Atış, 2011).

1.2 Puzolanlar

Puzolanlar (ASTM C618, 2012)'ye göre, kendi başlarına bağlayıcı özelliği çok az ya da hiç olmayan, çok ince öğütüldüğünde ve nemli ortamlarda kalsiyum hidroksitle kimyasal reaksiyona girince bağlayıcı özellik gösteren silisli, silisli-alüminli malzemelerdir. Yapılarında bunlar dışında oksitli, alkali ve karbon malzemeler bulunmakta olup elde edildikleri doğal kaynakların yerlerine göre oransal miktarları değişiklik göstermektedir. Doğal puzolanlar endüstriyel yan ürünlerden elde edilenlerin haricindeki doğal olarak bulunan puzolanlardır. Bunlar çoğunlukla volkanik kökenli olup volkanik küller, volkanik tüfler, volkanik camlardır. Bunların dışında killer, şeyller, diatomlu topraklardır. Yapay puzolanlar doğal olarak bulunmayan endüstriyel malzeme üretimi sırasında yan ürün olarak elde edilen malzemelerdir. Yapay puzolan olarak uçucu küller, silis dumanı ve cürüflerdir (Bilim, 2006).

1.2.1 Puzolanik Reaksiyon

Puzolanların kompozisyonu silis ve alüminden meydana gelmektedir. İnce taneli durumdaki puzolanlar, söndürülmüş kireç ve suyla birleştirildiğinde kimyasal tepkimelere girmektedir. Kalsiyum hidroksit, silis ve su birleşimindeki tepkimeler, aynen Portland çimentosunun hidrasyonundaki gibi hidrolik bağlayıcılık özelliğine sahip kalsiyum – silika - hidrat (C - S - H) jellerinin oluşmasını sağlar. Nemli ortamlarda, ince öğütülmüş puzolanların silikası ile kalsiyum hidroksit birleşiminde oluşan kimyasal tepkimeler aşağıdaki gibi belirtilebilir (Erdoğan, 2003).



Bu tepkime çok yavaş bir tepkimedir. Burada, C=CaO, H=H₂O, S=SiO₂'tir.

1.2.2 Puzolanik Aktivite

Beton karışımında bulunan puzolan ile hidrate olmuş kireç arasında oluşan tepkimenin sağladığı bağlayıcılığın ölçüsü puzolanik aktivite ile tanımlanır. Puzolanik aktiflik aynı zamanda, kalsiyum hidroksit ile alüminli silikaların birleşimiyle meydana gelen ve bağlayıcılık özelliği bulunan hidrasyon ürünlerinin oluşturduğu reaksiyonun adıdır (Erdoğan, 2002).

Puzolanik malzemenin yeterli aktiviteye sahip olabilmesi için, tek başlarına bağlayıcılık özelliği bulunmadığından ya da az miktarda olduğundan dolayı mümkün olduğunca ince taneli olması, amorf yapıda olması ve gerekli miktarda yapısında “silis, alümin, demir oksit” bulunması gerekmektedir. Puzolanik aktivite “dayanım aktivite indeksi” olarak isimlendirilen bir formülün hesaplanmasıyla tanımlanmaktadır. Bu formül aşağıda belirtilmektedir (Erdoğan, 2003).

$$\text{Dayanım aktivite indeksi} = (A/B) \times 100 \quad (1.1)$$

A= Puzolanlı betonların basınç dayanımı,
B= Kontrol betonların basınç dayanımıdır.

1.2.3 Puzolanların Kullanım Amacı

Puzolanlar gerektiği kadar ince öğütüldüklerinde, betonun karışımındaki çimento veya ince agrega ile ikame olarak kullanılır. Puzolanlar, betonda işlenebilirliği arttırmak, terleme ve segregasyonu azaltmak, hidrasyon ısısını düşürmek, hacimsel değişimleri azaltmak, geçirimsizliği düşürmek, kalıcı dayanımları yükseltmek, sülfat dayanıklılığını arttırmak ve ekonomi için kullanılmaktadır (Bilim, 2006; Erdoğan, 1997).

1.3 Yüksek Fırın Cürufu Beton

Beton, çimento, agrega ve su homojen olarak karıştırılarak üretilmektedir. Kimyasal ve mineral katkı malzemelerinin gelişimi ile beton teknolojisi de sürekli gelişim göstermiştir. Beton, ekonomik olmasından dolayı yüksek dayanım ve dayanıklılık gibi özellikleri daha da geliştirilerek inşaat sektöründe en çok aranan ve kullanılan yapı malzemesi olmaya devam edecektir. Yüksek dayanımlı betonlarda granüle yüksek fırın cürufu içeren betonların performans araştırmaları da hız kesmeden devam etmektedir. Farklı malzemelerin kullanılması ve yeni teknolojilerin uygulanmasıyla bileşenleri ve davranış özellikleri geliştirilmeye devam edilen yüksek dayanımlı betonların sorunları çözüldükçe kullanım alanları genişleyecektir.

Ülkemizde yıllık 89,8 milyon ton klinker ve 141,8 milyon ton çimento üretimi yapan 50

entegre tesis ile 19 öğütme tesisi bulunmaktadır. 2018 yılında 70,3 milyon ton klinker, 72,5 milyon ton çimento üretimi gerçekleştirilmiştir. Ülkemizde demir cevheri kullanarak demir üretimi gerçekleştiren üç demir çelik fabrikası bulunmaktadır. Bu tesisler Ereğli (Erdemir), Karabük (Kardemir), ve İskenderun'da (İsdemir) kurulmuştur. Belirtilen üç demir çelik tesisinden yılda 3 milyon ton yüksek fırın cürufu üretilmekte olup, bu yüksek fırın cürufunun 1,3 milyon tonu hazır beton sektöründe, 1,4 milyon tonu ise çimento üretiminde kullanılmaktadır (TÇMB, 2015).

1.3.1 Yüksek Fırın Cürufu

Endüstriyel demir çelik ve metallerin üretimi sırasında üretilecek asıl ürünün dışında, yan ürünler meydana gelmektedir. Yan ürün olarak elde edilen bu malzemelerin depolanması büyük hacimlere ulaştığından sorun olmakta, çevre ekosistemine zarar vermektedir. Malzemelerin yapısal özellikleri araştırıldığında bir kısmı belirli oranlarda yapı endüstrisinde kullanılabilir. İnşaat sektöründe cüruf, çimentonun üretimi sırasında, çimento ile ikame edilerek beton üretiminde, ince agrega ile ikame edilerek yine beton üretiminde cüruflar kullanılmaktadır. Alışlagelen demir, çelik üretiminden yan ürün olarak ortaya çıkan cüruflar, kristalize yapıları sebebiyle ham durumda puzolanik özelliğe sahip olmadıklarından beton ve çimento sektöründe tercih edilmezler. Önem arz etmeyen yol yapımındaki betonlarda kullanılırlar. Modern endüstriyel demir çelik üretiminden ortaya çıkan cüruflar, camsı (amorfe) yapıda oldukları için çimento ve beton üretimlerinde kullanılmaktadırlar (Bilim, 2006).

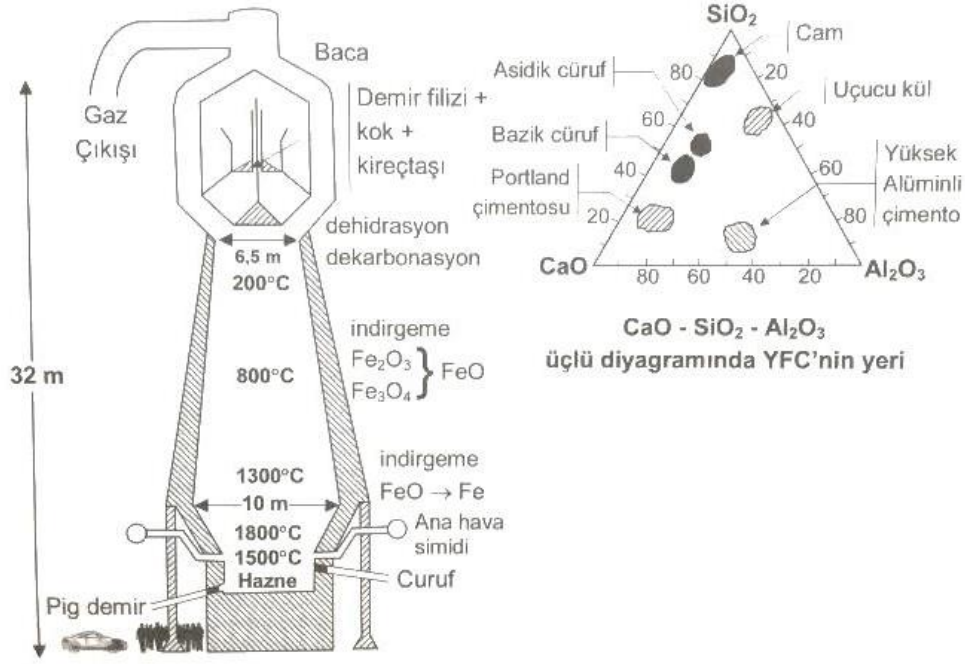
Yüksek fırın cürufu demir çelik endüstrisinde yan ürün şeklinde elde edilip, beton sektöründe kullanılması doğal çevrenin korunmasına fayda sağlamakta olup, Yüksek fırın cürufu öğütülmemiş halde beton teknolojisinde iri agrega olarak kullanılmakla birlikte beton üretiminde çimento ile yer değiştirilerek de kullanılmaktadır. Bu sayede CO₂ salınımı yüksek oranlarda azaltılabilmektedir. Yüksek fırın cürufu Portland çimento ile %50 oranında ikame edilerek kullanılmasıyla CO₂ salınımı %50 oranında azaltıldığı görülmektedir (URL 1, 2015).

Yüksek fırın cürufunun çimento yerine belirli oranlarda ikame edilmesiyle üretilen betonların erken yaşlardaki beton dayanımlarının düşük olduğu zamanla dayanım kazanma hızının artmakta olduğu, yüksek fırın cürufu ikamesiz üretilen betonlardan daha yüksek

nihai basınç dayanımlarına sahip olduğu görülmektedir. Betonların karışımlarında yüksek fırın cürufu bulunanların eğilme dayanımları geç yaşlarda hızlı şekilde artmakta buna karşın yüksek fırın cürufu olmadan üretilen betonlara göre eşit veya daha büyük eğilme dayanımlarına sahip olduğu görülmektedir. Betonlarda erken yaşlarda dayanımı arttırmak için ikame edilen çimento oranını değiştirmeden yüksek fırın cürufu miktarını arttırmak veya öğütürerek daha fazla inceltip kullanmak fayda sağlamaktadır. Yüksek fırın cürufları betonda kullanıldığında taze betonun işlenebilirliğini arttırmaktadırlar. Yüksek fırın cürufları gerektiği kadar ince öğütülmüş olarak betonlara katıldığı zaman beton karışımlarında bulunan matris fazını büyütür ve iri agrega tanelerinin homojen olarak dağılmasını kolaylaştırmaktadırlar. Yüksek fırın cürufu çimentoya oranla daha uzun zamanda ve yavaş tepkimelere girdiği için betonların priz süresi uzamaktadır. Priz sürelerinin uzaması havanın sıcak olduğu zamanlarda avantajlı olmasına karşın soğuk havalarda priz hızlandırıcı kullanılması gerekmektedir. Yüksek fırın cürufunun çimento ile ikame edilmesi durumunda beton üretiminde bağlayıcı olarak kullanılan çimentonun miktarını azaltmakta bunun sonucunda ise betonun hidrasyon ısı azalmaktadır. Bundan dolayı da termik rötre oluşmaması için betonlarda bağlayıcı malzemeler kullanılırken hidrasyon ısı düşük olanlar kullanılmalıdır. Betonun terleme olayını azaltmak için çimento daneleri arasına çok ince öğütülmüş yüksek fırın cürufu girmesi olumlu sonuç vermektedir. Bu bağlamda betondaki ayrışmalar ve rötre çatlakları azalmaktadır (Erdoğan, 1997, 2003; Tokyay ve Erdoğan, 2003).

1.3.2 Yüksek Fırın Cüruflarının Üretimi

Yüksek fırınlar, demir madenlerinin kok ve kireç taşıyla birlikte ergitilmesinde kullanılır. Kapasitelerine göre ise 30-90 m yüksekliğinde bulunan dikey ergitme fırınlarıdır.



Şekil 1.1: Yüksek Fırın Şeması (Baradan vd.,2012)

Fırınlarda en çok kullanılan yakıt kok kömürüdür. Demir cevherinin yabancı maddelerden arındırılması için kalker taşı demir cevherle yüksek fırına üstten katılmaktadır. Karbon kok kömüründen, oksitler demir cevherinden açığa çıkar ve bunların reaksiyonunda karbondioksit ve karbon monoksit birleşimi olarak fırından çıkar. Geride cüruf ismi verilen malzemeler kalır. Bu malzemeler eriyik halde demir, kireç, kül, silis, alümin, karbon, mangan, fosfor ve sülfürdür. Demir ve cüruf yoğunlukları farklı olduğu için ayrı çıkışlarla dışarı alınmaktadır (Bilim, 2006).

Eriyik haldeki cüruf bir vibrasyon plakası üzerine dökülür. Genleşen cüruf su püskürtülerek soğutulur. Buradan da yaklaşık 1 m çapında çikintıları olan dönen bir tambura aktarılır. Granülasyon elde edilmesi tambur vasıtasıyla havaya fırlatılan cüruf havadaki çok hızlı soğuma sayesinde sağlanır. Cüruf oluşumunda ton başına yaklaşık 1 m³ su kullanıldığından cüruf yapısında yaklaşık %10 miktarda su içermektedir (Bilim, 2006).

Cüruflar granüle hale getirilirken yapısında bulunan su, kurutucu değirmenlerde kurutulur ya da filtreli havuzlarda süzülmemektedir. Yüksek fırın cürufları değirmenlerde çimento inceliğinde öğütülerek bağlayıcılık özelliğine kavuşabilmektedirler. Yüksek fırın cürufu öğütülerek, sodyum silikat, sodyum hidroksit veya kalsiyum hidroksitle veya Ca(OH)₂ ile reaksiyona girdiğinde hidrolik özelliği bulunmaktadır. Bundan dolayı öğütülmüş yüksek

fırın cürufu, cürüflü çimentoların yapısında, mineral katkı maddesi kullanılır veya çimento yerine ikame edilerek beton teknolojisinde kullanılmaktadır (Bilim, 2006).

1.3.3 Yüksek Fırın Cüruflarının İnceliği

Yüksek fırın cürufları, puzolanik yapıya sahip olması için gerektiği kadar çok ince taneli olacak şekilde öğütülürler. Öğütülmüş olan granüle yüksek fırın cürufunun beton içerisine katılması, taze veya sertleşmiş betonun özelliklerini olumlu arttırmakta olup hiç cüruf içermeyen betona oranla sert çevre koşullarına daha dayanıklı yapıya sahip olmaktadır. (Babu, 2000).

Granüle yüksek fırın cürufunun hidrolik bağlayıcılığı, cürufun çok ince öğütüldüğünde artacağından, inceliği Portland çimentosundan daha düşük olarak bunun da en az 400 m²/kg inceliğine kadar öğütülmesi gerekmektedir (Newman & Choo, 2003).

1.3.4 Yüksek Fırın Cüruflarının Kimyasal İçeriği

Öğütülmüş yüksek fırın cürufunun kimyasal içeriği, hidrolik bağlayıcılık özelliklerinin tespit edilmesinde önemli bir faktördür. Bu bağlayıcılık değeri, CaO/SiO₂ oranının bir noktaya kadar artmasıyla artış gösterirken, bu eşik değer aşıldıktan sonra granülasyon güçleşeceğinden hidrolik yapısında azalma başlar. CaO/SiO₂ sabit tutulduğunda, Al₂O₃ miktarı artırılır ise cürufun aktivitesi artırılmış olur. MgO'in %10'a kadar cüruf içinde bulunması dayanımı olumsuz etkilemez, ancak %10'dan yüksek oranlar dayanımı düşürebilir. Ayrıca cüruf içindeki demir ve mangan oksitler de dayanımı olumsuz etkilemektedir (Tokyay, 2003).

1.3.5 Yüksek Fırın Cüruflarının Yapısı

Cüruflar, bağlayıcılık özelliğine soğutma yöntemiyle kavuşmaktadırlar. Soğutması ani soğutma yöntemiyle yapılan cürufların camsı yapısı sayesinde bağlayıcılık özelliğini kazanmaktadır. Ani soğutulduğunda atomlar kristal yapı oluşturacak zamanı bulamadan amorf bir yapı oluşturmaktadır (Bilim, 2006).

XRD analizi yardımıyla bazı Ca²⁺ iyonlarının C-S-H'nin yapısına katılmadığı ve

atmosferik CO₂ ile reaksiyona girerek numune yüzeylerinde CaCO₃'yu oluşturduğu son aşamada ise reaksiyonların katı haldeki ürünler arasında devam ettiği belirlenmiştir (Burciaga ve Garcia, 2013).

1.3.6 Yüksek Fırın Cüruflarının Hidratasyonu

Aktivasyon işlemi uygulamada, alkalileri ve sülfatları bünyesinde bulunduran Portland çimentosu ile yüksek fırın cürufunun birleştirilmesiyle elde edilir (Bilim, 2006).

Portland çimentosu ile yüksek fırın cürufu karıştırılarak su ilave edildiğinde, öncelikle Portland çimentosunun yapısında bulunan C₃S ve C₂S içeren ana bileşenler reaksiyon sonucu hidrolik bağlayıcılık özelliğini çimentoya kazandıran C₃S₂H₃, yani C-S-H jelleri ile birlikte Ca(OH)₂ (kalsiyum hidroksit) üretmeye başlar. Cüruf, hidrolik bağlayıcılık kazanabilmek için ihtiyacı olan kalsiyum hidroksiti, Portland çimentosunun hidratasyon ürünü olan kalsiyum hidroksitten almaktadır. Öğütülmüş yüksek fırın cüruflarının bileşimlerinde bulunan amorf yapıdaki silisi ve alümini, kalsiyum hidroksit ile tepkimeye girerek, Portland çimentosundakine benzer şekilde, bağlayıcı özelliğe sahip yeni C-S-H jelleri üretmektedir. Ortaya çıkan bu hidratasyon ürünlerinin Portland çimentosununkiyle aynı olduğu kabul edilmektedir (Erdoğan, 1997).

1.3.7 Yüksek Fırın Cüruflarının Aktivitesini ve Bağlayıcı Özelliklerini Etkileyen Faktörler

Cürufların çimento ve betona olan etkisi, puzolanların etkilerine paralel olarak, cürufun niteliğiyle ilişkilidir (Soroka, 1993).

Öğütülmüş granüle yüksek fırın cüruflarının beton üretiminde kullanıldıklarında bağlayıcılık özelliklerini değiştirebilen etkenler:

- Cürufların kimyasal içeriği
- Reaksiyon sistemindeki alkali konsantrasyonu
- Cürufların ve aynı bileşimde kullanılan Portland çimentosunun inceliği
- Üretim ortamının sıcaklığı
- Cüruf içerisindeki amorf yapının miktarı

1.3.8 Yüksek Fırın Cüruflarının Beton Özelliklerine Etkileri

Olumlu etkileri:

1. Taze betonun işlenebilirliğini artırır.
2. Priz süresini uzatır.
3. Betonun terlemesini azaltır.
4. Hidratasyon ısısını düşürür.
5. Sertleşmiş betonun su geçirimsizliğini düşürür.
6. Sertleşmiş betonun sülfata dayanıklılığını artırır.

Olumsuz etkileri:

1. Taze betonun soğuk havalarda daha geç priz almasına neden olur.
2. Taze betonda istenilen ölçüde sürüklenmiş hava elde etmek için daha fazla hava sürükleyici kullanmak gerekir.
3. Sertleşmiş betonun ilk günlerdeki dayanım artışı daha yavaş olur (Erdoğan, 2010).

BÖLÜM 2

LİTERATÜR ÖZETİ

Türkiye Hazır Beton Birliği'nin, 2016-2017 üretilen beton verileri incelendiğinde, Tablo 2.1'de Türkiye'de 2017 yılında kullanılmış olan beton sınıflarından C25/30 ile C30/37 arasında olanların tüm kullanılan betonlara oranının % 69 olduğu görülmektedir.

Tablo 2.1: Betonun toplam betona yüzdeliği.

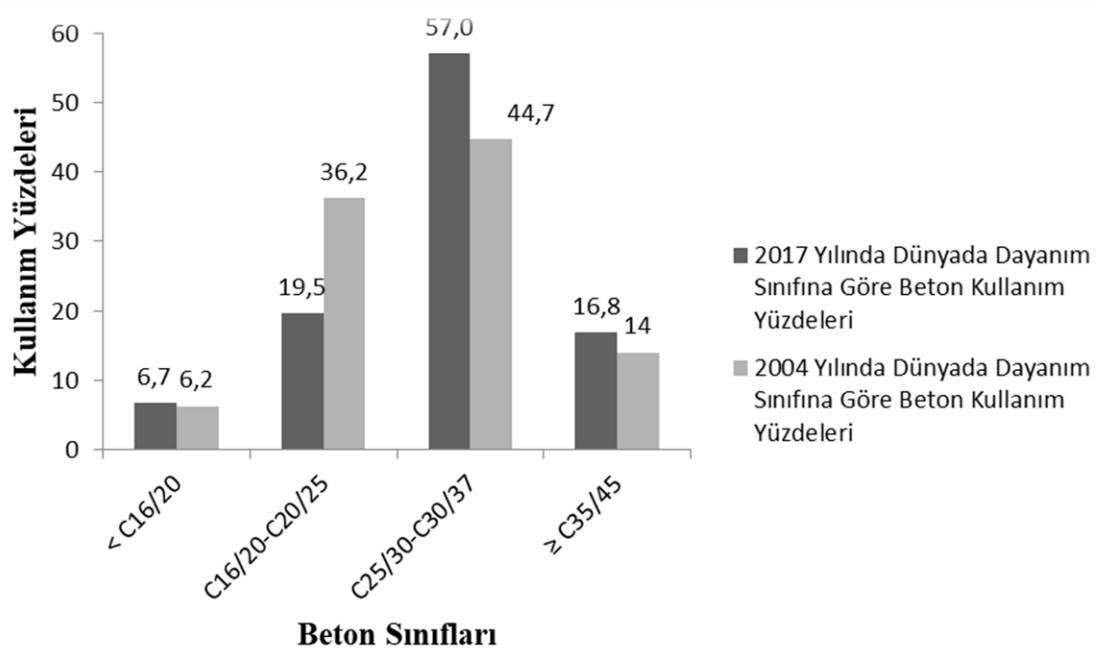
Ülkeler	< C16/20		C16/20-C20/25		C25/30-C30/37		≥ C35/45	
	2016	2017	2016	2017	2016	2017	2016	2017
Avusturya	7,6	7,8	15,3	14,8	70,8	70,8	6,3	6,3
Belçika	0,0	0,0	9,0	8,9	55,0	55,1	36,00	36,00
Çek cumhuriyeti	16,0	16,0	26,0	26,0	35,0	35,0	23,0	23,0
Danimarka	6,0	6,0	30,0	30,0	36,0	36,0	28,0	28,0
Finlandiya	2,0	0,0	19,0	15,0	68,0	70,0	11,0	15,0
Fransa	1,0	1,0	10,0	9,0	80,0	80,0	9,0	10,0
Almanya	8,0	7,8	16,8	16,3	61,1	61,2	14,1	14,7
İrlanda	8,0	8,0	20,0	20,0	38,0	38,0	34,0	34,0
İtalya	6,0	6,0	16,0	16,0	75,0	75,0	3,0	3,0
Hollanda	1,0	1,0	46,0	39,0	38,0	38,0	15,0	7,0
Polonya	13,0	13,0	25,0	25,0	55,0	55,0	7,0	7,0
Portekiz	4,6	5,0	29,6	40,0	60,0	50,0	3,2	5,0
Slovakya	15,0	7,0	25,0	17,0	52,0	71,0	8,0	5,0
İspanya	7,0	7,0	5,0	5,0	82,0	82,0	6,0	6,0
İsveç	-	-	-	-	-	-	-	-
İngiltere	11,0	11,0	25,0	25,0	54,0	54,0	10,0	10,0
Averaj Avrupa Birliği	6,7	6,5	17,2	16,6	62,7	62,9	11,4	11,6
İsrail	0,0	0,0	5,0	3,0	70,0	70,0	25,0	25,0
Norveç	0,0	0,0	3,2	3,2	42,5	44,0	54,3	53,0
İsviçre	-	-	-	-	-	-	-	-
Türkiye	0,0	1,0	8,0	8,0	74,0	69,0	18,0	22,0
Toplam ERMCO	4,5	4,6	14,1	13,7	66,1	64,7	14,0	15,4
Rusya	5,0	5,0	30,0	30,0	50,0	50,0	15,0	15,0
ABD	40,0	40,0	25,0	25,0	25,0	25,0	10,0	10,0
Japonya	0,0	0,0	44,2	44,2	57,4	57,4	25,5	25,5

Tablo 2.1'de Avrupa Hazır Beton Birliğine (ERMCO) üye olan ülkelerdeki beton dayanımlarına göre oranları (N/mm²) verilmiştir. Ayrıca betonların üretim miktarları ve

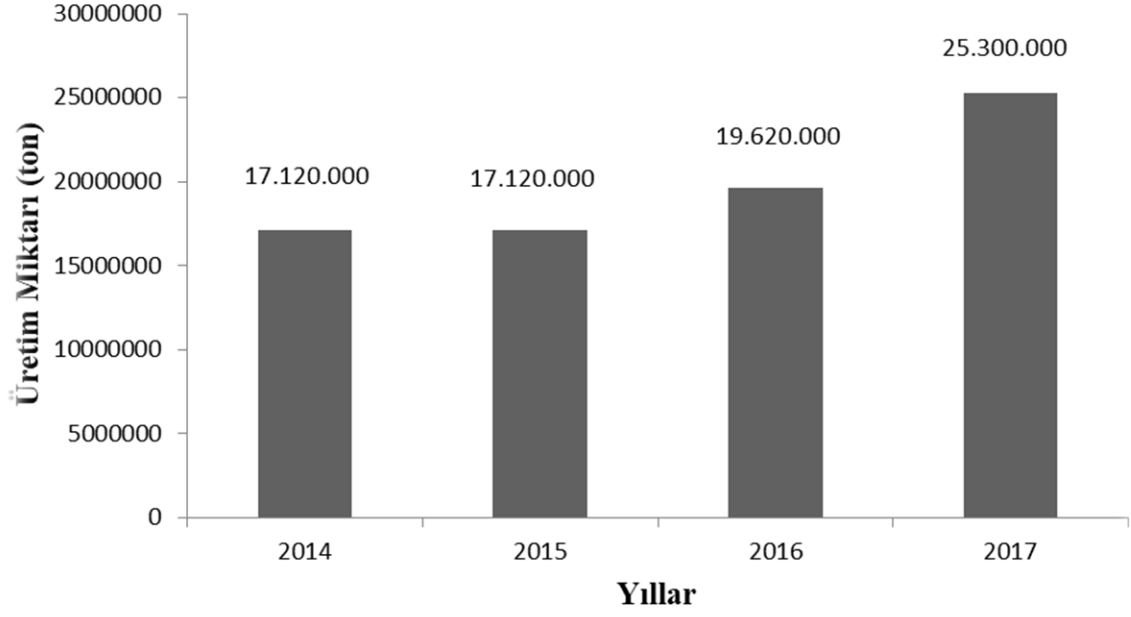
kullanım yüzdelerine ait bilgiler Şekil 2.1, Şekil 2.2’de gösterilmiştir. (URL 4, 2017).

Kullanılan betonların dayanım sınıflarına bakıldığında; C25/30-C30/37 dayanım sınıflarında % 69 ile Türkiye, % 62,9 olan AB ortalamasının üstündedir. C35/45 ve üstü dayanım sınıflarında ise Türkiye % 22 ile % 11,6 olan AB ortalamasının üstündedir.

Dünyada dayanım sınıfına göre beton kullanım miktarlarına bakıldığında geçen yıllara oranla C25/30 ve üzeri dayanımı sahip betonların kullanımında artış olduğu görülmektedir.



Şekil 2.1: Dünyada dayanım sınıfına göre beton kullanım yüzdeleri.



Şekil 2.2: Türkiye'de kullanılan C35/45 ve üzeri sınıftaki betonların üretim miktarı.

Betonun basınç dayanımını ve gerilme şekil değiştirme ilişkisini etkileyen tüm değişkenler elastisite modülünü de etkilemektedir. Bu nedenle beton gibi elastik ve doğrusal olmayan ve zamana bağlı deformasyon gösteren bir malzemenin elastisite modülü doğru ve kesin olarak tanımlanamamaktadır. Hesap için öngörülecek elastisite modülünü tüm değişkenleri göz önüne alarak tanımlamak da doğru olmayacaktır. Çeşitli ülkelerde yürürlükte olan yönetmeliklerde elastisite modülü beton basınç dayanımının bir fonksiyonu olarak ifade edilmektedir. Bazı yönetmeliklerde gösterilen hesaplamalarda hafif beton da düşünüldüğünden beton ağırlığı da dikkate alınmaktadır. Bu hesaplamalar ani yükleme içindir ve zaman etkisine bağlı değildir. Kalıcı yükleme için bu değerler zamanla düşecektir (Ersoy,1985).

Beton basınç dayanımını etkileyen etkenler; agrega ile ilgili faktörler ve içerisindeki zararlı maddelerdir. Agrega ilgili faktörler agreganın gradasyonu, tane boyutu, şekli ve dayanımıdır. Agregaların yüzeyinin pürüzlü olması agrega ile çimento arasındaki aderansı arttırmaktadır. Aderansın artması betonun basınç dayanımını da arttırmaktadır. Agregalardaki yabancı maddeler betonun boşluklu yapıda olmasına sebebiyet verir sonucunda da beton dayanımı düşer. Beton dayanımını etkileyen çok önemli bir diğer etken de su/çimento oranıdır. Sıkıştırması iyi yapılan bir betondaki boşluk miktarı su/çimento oranı ile açıklanabilir. Su/çimento oranı azaltılarak yüksek dayanımlı beton üretilmektedir. Ancak su oranının düşmesi betonun işlenebilirliğini azalttığından

betonun yerleştirmesi ve sıkıştırma işlemi çok zor yapılacaktır. Diğer taraftan su miktarı arttırılırsa betonda yeterince sıkıştırma yapılamayacağından boşluklu bir beton olur ve betonun dayanımı azalır (Eser, 2015; Ersoy, 2000).

Betonun yüksek basınç dayanımına sahip olması için malzemeler haricinde işçilik, kr koşulları ve çevresel etkenler önemlidir. Hazırlanmış olan betondaki imento hamurunun dayanımı işiliklerden dolayı kaybolursa betonunda dayanımı düşer. Kr koşulları denilen evre koşullarının iyi ayarlanmasıyla betonun kalitesi yükseltilebilmektedir. Kr koşulları sıcaklık, rutubet, rüzgar, doğrudan güneş iřđı ile ilgili olduğundan gerekli önlemler alınarak betonun kalitesine etki edilebilmektedir.

Yapılan çalışmalarda yüksek dayanımlı betonların tanımlamasında Ersoy ve Tankut (1991), 50 MPa'dan yüksek dayanıma sahip betonları yüksek dayanımlı, Song ve diğ. (2005), basınç dayanımı 42 MPa'dan yüksek dayanıma sahip olan betonları yüksek dayanımlı, zmeri ve zden (1991), 41 MPa'dan yüksek dayanıma sahip betonları yüksek dayanımlı, Fırat ve Ağca (2012) ise 40MPa'dan yüksek dayanıma sahip betonları yüksek dayanımlı beton olarak kabul etmişlerdir (Eser, 2015).

Yılmaz ve Mertol (2011), yaptığı çalışmalarında tasarım ve yapımda kullanılan beton dayanımının düşük olduğunu, bu betonların kullanım sebebinin ise bir standardın oluşturulmadığına bağlamaktadırlar. alışmalarında, Türkiye'de üretilen betonlardan 40 MPa'dan yüksek betonların isteğe bağlı olarak üretildiğini, yapıların niteliğine göre beton sınıflarının belirlendiğini tespit etmişlerdir. Yüksek dayanımlı betonun Türkiye'de kullanılmamasının nedenleri araştırıldığında, en başta yüksek dayanımlı betonun faydalarının anlaşılamadığı, maliyetinin yüksek olduğu, malzemelerdeki yetersizlikler ve belli bir standardın olmamasını tespit etmişlerdir. Yüksek dayanımlı betonun kullanımının yaygın hale gelmesi için, yüksek dayanımlı betonların standardının olması, beton teknolojileri ile ilgili herkesin bilinçlendirilmesi, dayanımı yüksek agrega kullanılması, beton katkı malzemelerinin yaygın hale gelmesine bağlıdır (Eser, 2015).

Fırat ve Ağca (2012), yaptıkları çalışmada, Marmaray Projesi'nde kullanılan C40 betonun kalitesini, betonun 7 ve 28 günlük basınç dayanım değerlerini kullanarak değerlendirmişlerdir. Normal ve yüksek dayanımlı betonları karşılaştırarak Türkiye'de uygulanan standartları değerlendirmişlerdir. Çok sayıda numune incelemişler ve C40

betonun ortalama değerinin yüksek olduğu karar vermişlerdir. Sonuçta ise, Türkiye standartlarında C40 ve üzerinde olan betonların yüksek dayanımlı beton sınıfı olarak kabul edilebileceğini kabul etmişlerdir (Eser, 2015).

Chmielewski ve Konopka (1999), Almanya’da üretilmiş C35 ve C45 beton numunelerini yüksek dayanımlı beton olarak kabul ederek, normal dağılıma uygunluğunu ve beton basınç dayanımının değişkenliklerini araştırmışlardır. (Eser, 2015).

Her geçen gün ihtiyaçlar doğrultusunda tüm alanlarda gelişmeler olmaktadır. Bu gelişmelerden inşaat sektörü de en çok etkilenenler arasındadır. Ülkemizin depremsellik gerçeği ve nüfusun sürekli artması, yüksek kalitedeki binalar, barajlar, köprüler gibi özellikli yapıların yapılmasına ihtiyaç doğurmuştur. Ancak büyük depremlerde hasarlı yapılar incelendiğinde yüksek dayanımlı betonlar kullanılmadığı gözlemlenmiştir (Eser, 2015 ;Celep vd., 2011; Binici, 2007; Doğangün vd., 2013).

Yüksek dayanımlı beton tanımı, betonun kullanıldığı bölgelere, zemin özelliklerine, fiziksel özelliklerine ve üretim teknolojisine göre sürekli olarak değişim ve gelişim göstermektedir. Avrupa’da 28 günlük basınç dayanımı 60 MPa’dan fazla olan betonlar, Türkiye’de 28 günlük basınç dayanımı 40 MPa’dan fazla olan betonlar yüksek dayanımlı beton olarak kabul edilmektedir (Eser, 2015).

Tablo 2.2’de bazı ülkelerin yönetmeliklerine göre yüksek dayanımlı betonun basınç dayanım aralıkları gösterilmiştir (Yılmaz ve Alemdar, 2003).

Tablo 2.2: Yüksek dayanımlı beton dayanım sınırları.

Yönetmelik	Min. Basınç Dayanımı (MPa)	Max. Basınç Dayanımı (MPa)	Numune Tipi
TS500	50	100	150/300 Silindir
ACI 318	62-69	100	150/300 Silindir
CAN3-A23.3 M84	62-69	100	150/300 Silindir
CEB-FIB MC 90	60	80	150/300 Silindir
DiN 1045	55	115	150×150×150 Kp
NS3473	65	105	150×150×150 Kp
BS 8110	60	110	150×150×150 Kp
RAK-MK4	60	100	150×150×150 Kp

Beton teknolojisindeki gelişme, su/çimento oranının çok düşük olmasına karşın işlenebilirliği çok yüksek beton üretmeyi sağlayan hiper akışkanlaştırıcıların bulunması ile farklı bir boyut kazanmıştır. Hiper akışkanlaştırıcı katkılarla su/çimento oranı oldukça düşmekte, betondaki kılcal boşluklar çok büyük ölçüde olmamaktadır. İşlenebilirlik yüksek derecede arttığı için vibrasyona ihtiyaç kalmamaktadır. Hiper akışkanlaştırıcılarla birlikte ince silis dumanının kullanımı ile dayanımlar daha da arttırılmaktadır. Silis dumanları kılcal boşlukları kapatarak çimento hamurunun iyileştirilmesine olanak vermektedir. Hiper akışkanlaştırıcı katkıları ile silis dumanı beton mukavemetini arttırırken kullanımda da kolaylıklar sağlamaktadır (Yılmaz ve Alemdar, 2003).

1990 yılı öncesinde çelik lifli beton üretimi hızla artış göstermiş olup günümüzde çok daha fazla miktarlarda kullanılmaktadır. Miktersal olarak artan üretimin yanında zemin kaplamaları gibi çok değişik alanlarda da kullanılmaya başlanmıştır. Nitekim çelik lifli betonların ilk kullanıldığı alanlar yol, tünel kaplamaları ve onarım işleridir. Çelik lifli beton üretiminde lifler betona homojen olarak dağıtıldığında betondaki çatlakları engellemekte kılcal çatlakların azalmasını sağlamakta oluşan çatlakları ise bağlayarak gerilmelerin geniş bir alana yayılmasını sağlayarak betonun karakteristiğini olumlu olarak etkilemektedir (Kamolzoda, 2018; Zeynal, 2008).

Erol (2011), çalışmasında betonarme kirişlerin mekanik davranışını geleneksel betonlar ile çelik lif içeren betonlar karşılaştırmıştır. Karşılaştırmada yapılan deneylerle Basınç dayanımı, elastisite modülü ve eğilme dayanımı tayini mukayese edilmiştir. Bu deneylerden eğilme dayanımı tayini beton kirişlere eğilme yüklerinin uygulanması ile, eğilme dayanımının ve dolaylı olarak çekme dayanımının elde edildiği yöntem olup numunelerin toklukları karşılaştırılmıştır. Bunun sonucunda da çelik lif içeren betonların dayanımının tokluğunun artmış olduğu görülmüştür. Tüm deneyler sonucunda ise çelik liflerin elastisite modüllerini geleneksel betonlara göre artırdığı tespit edilmiş ve lif miktarı arttıkça elastisite Modülünün de arttığı görülmüştür (Kamolzoda, 2018; Erol, 2011).

Türkel (2002), çalışmasında çok sayıda beton numuneler üreterek bunların basınç dayanımı ile elastisite modülü tespit edilmiş ve aralarındaki bağıntı araştırılmıştır. Ayrıca elastisite modülüyle ultra ses hızı ve su/çimento oranı arasındaki bağıntıda araştırılmıştır. Malzemenin elastisite modülü rijitliğin göstergesidir. Beton üzerinde özel aygıtlarla üretilen ultrases dalgalarının, beton elemanın bir ucundan diğer ucuna varabilmesi için

geçen zamanın ölçülmesidir. Deneyler sonucunda elastisite modülüyle ultra ses hızı ve su/çimento oranı arasında doğrusal ilişki olduğu tespit edilmiştir. Basınç dayanımı ile elastisite modülü arasındaki doğrusal ilişkiler olduğu ve aralarında yüksek bağıntılar tespit edilmiştir. Betonun basınç dayanımına etki eden tüm faktörlerin elastisite modülü üzerinde de etkili olduğu görülmüştür (Kamolzoda ,2018;Türkel, 2002) .

Yanar (2007), çalışmasında kendiliğinden yerleşen betonun özelliklerine değişik ikame oranlarında mineral katkı malzemesi kullanılarak korelasyonu araştırılmıştır. Su/bağlayıcı oranı sabit tutularak sadece Portland çimentosu içeren geleneksel beton numunelerle değişik ikame oranlarındaki uçucu kül, meta kaolin, cüruf ve Portland çimentosu içeren betonlar karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışmalarda taze betonun çökme, akış zamanı, L-kutusu, V-hunisi ve birim hacim ağırlık deneyleri yapılmıştır. Hazırlanmış beton karışımlarından numuneler üretilmiş ve bunlar üzerinde ultrasonik ses ve basınç dayanım deneyleri yapılmıştır. Yapılan deneylerde şekil yapısı, tane dağılımı, incelik, su ihtiyacı, hacim değişimi, üniformluk, yoğunluk ve su içeriği uçucu küllerde en önemli fiziksel özellikler olduğu da dikkate alındığında uçucu kül içeren karışımlarda işlenebilirlik özelliğinin yüksek olduğu tespit edilmiştir (Kamolzoda, 2018; Yanar, 2007).

Basınç dayanımı 50 N/mm^2 - 80 N/mm^2 arasında olan betonlara yüksek dayanımlı beton adı verilmektedir. Yüksek akışkanlaştırıcı kullanarak normal betonunkine kıyasla dayanım artışı bariz bir şekilde hızlandırılmaktadır. Basınç dayanımı 80 N/mm^2 - 140 N/mm^2 olan betonlara ise çok yüksek dayanımlı beton adı verilmektedir. Yüksek akışkana ilave silis dumanı veya kalker filler katkısı ile çok yüksek dayanımlı beton elde edilmektedir (Tuna, 1992).

Silis dumanı yüksek dayanımlı beton elde etmede özellikle 80 N/mm^2 basınç dayanımını aşmak gerektiğinde kullanılır. Silis dumanı olduğu gibi kullanım sunulduğu gibi yoğunlaştırılarak, süper akışkanlaştırıcılarla karıştırılarak, veya bir akışkan içinde de sunulmaktadır. Silis dumanının süper akışkanlaştırıcı ile birlikte kullanılması zorunludur. Çok ince olan bu malzemenin karışımın homojen olarak dağılması çok önemli olup, bunun için bir karıştırma ekipmanı ile uzun süre karıştırma esas olmaktadır. Betonun kür sıcaklığı, işlenebilirliği, dozu dayanımına etki eden önemli faktörlerdir. Silis dumanı ile boşluk boyutları küçülmekte kompozite artmaktadır (Tuna, 1992).

Gelişen beton teknolojileri sayesinde yüksek dayanımlı beton üretiminde vazgeçilmez katkı maddelerinin başında akışkanlaştırıcılar gelmektedir. Akışkanlaştırıcılar su/çimento oranını azalttığından dolayı beton basınç dayanımlarında artışlar sağlamak ve betonların işlenebilirlik özelliklerini arttırmıştır. İnşaat işlerindeki çalışma hızı önemli olduğu için bu konuda geliştirilen katkılardan Priz hızlandırıcılar betonların dayanımlarını erken yaşta sağladığından betonarme kalıp sökümünü hızlandırmaktadırlar. Silis dumanı işlenebilirliği azaltmakta buna karşın beton dayanımını arttırmakta iken işlenebilirliği akışkanlaştırıcılarla birlikte kullanıldığında arttığından dolayı betondaki dayanım ve işlenebilirliği akışkanlaştırıcılar sayesinde yükseltmektedir. Ayrıca yapılan deneylerde silis dumanı ve akışkanlaştırıcıyla üretilen beton numuneleriyle silis dumanı bulunmadan akışkanlaştırıcı bulunan beton numuneler karşılaştırılmış ve sonucunda silis dumanı ve akışkanlaştırıcıyla üretilen beton numunelerinin daha yüksek dayanımlı oldukları tespit edilmiştir (Özbebek, 1993).

Betonarme yapıların kalıcılığı için önemli konulardan bir tanesi de taze betondaki hava boşluklarıdır. Hava boşluk sisteminin özgül yüzeyinin $25 \text{ mm}^2 / \text{mm}^3$ 'ün üzerinde ve boşluk faktörünün $0,16 \text{ mm}$ 'nin altında olması gerekir. Daha önceden yapılmış araştırmalarda hava sürükleyici kimyasalların yapısının, çimento esaslı malzemelerin donma-çözülme dayanıklılığını etkilediği tespit edilmiştir. Beton hacminin yaklaşık % 5-7'sinin hava olması durumunda donma çözülme dayanıklılığının iyi olacağı görülmüştür (Karakoç, 2010; Chatterji, 2003).

BÖLÜM 3

MATERYAL VE METOT

3.1 Materyal

Bartın Sanko çimento fabrikası ürünü olan CEM I 42,5 R çimentosu, Bartın yöresi kırma kum agregası, süper akışkanlaştırıcı ve şehir şebeke suyu kullanılmıştır. Kum ikame malzemesi olarak Karabük-Demir Çelik Fabrikası'ndan kum boyutunda granüle yüksek fırın cürufu temin edilmiştir. Çalışmalarımızda bu malzemeler kullanılmış olup üretilen beton örneklerimiz araştırma materyallerini oluşturmuştur.

3.1.1 Çimento

Yaptığımız çalışmalarımızda Bartın Sanko çimento fabrikasına ait CEM I 42.5 R özelliklerindeki çimento kullanıldı. Çimentonun fiziksel ve mekanik özelliklerine ait bilgiler Tablo 3.1'de, kimyasal özelliklerine ait bilgiler ise Tablo 3.2'de gösterilmiştir. Tüm özelliklerin TS EN 197-1:2012'ye uygun olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 3.1: Çimentonun fiziksel ve mekanik özellikleri.

Fiziksel Test Sonuçları TS EN 197-1:2012 ve TS EN 196 -1/3/6			
Fiziksel Testler		Standartlar	Sonuçlar
Özgül Ağırlık		- g/cm ³	3,13
Hacim Genleşmesi		≤ 10 mm	1,0
Su/Çimento Oranı		- %	29,25
Priz Süreleri	Başlama	≥ 60 dakika	160
	Bitiş	≤ 600 dakika	250
İncelik	Özgül Yüzey (Blaine)	- cm ² /g	3350
	45µ Elek Üstü	- %	5,0
	90µ Elek Üstü	- %	0,1
Basınç Dayanım Sonuçları TS EN 197-1:2012			
2 GÜN		≥ 20 MPa	30,5
7 GÜN		- MPa	42,1

28 GÜN	$\geq 42,5$ MPa	49,0
--------	-----------------	------

Tablo 3.2: Çimentonun kimyasal analiz sonucu.

Kimyasal Analiz Sonuçları TS EN 197-1:2012 ve TS EN 196 -2		
Kimyasal Testler	Standartlar	Sonuçlar
Toplam SiO ₂	% 18 ≤ - ≤ %26	19,57
Çözünmeyen Kalıntı	≤ % 5,0	0,40
Çözünen SiO ₂	% 18 ≤ - ≤ % 26	19,17
Al ₂ O ₃	% 3 ≤ - ≤ % 7	5,53
Fe ₂ O ₃	% 2 ≤ - ≤ % 6	2,86
CaO	% 59 ≤ - ≤ % 68	64,44
MgO	% 1 ≤ - ≤ % 3	2,09
SO ₃	% 1 ≤ - ≤ % 3	2,81
Kızdırma Kaybı	≤ % 5,0	2,45
Cl-	≤ % 0,1	0,018
Na ₂ OEq		1,18
Toplam		100
Serbest Kireç		-



Şekil 3.1: Çimento.

3.1.2 Agregalar

Betonlarda kullanılan agregalar beton içerisindeki oranlara ve fiziksel mekanik özelliklere göre basınç dayanımını etkileyen en önemli malzemelerdir. Betonun çekme ve kırılma dayanımlarına agrega özelliklerinin etkisi çok büyüktür. Çimento hamurunun düşük dayanımlı olması halinde agreganın kendi dayanımı beton dayanımı üzerinde daha az etkili iken çimento hamurunun daha yüksek dayanımlı olması halinde agrega dayanımı çok daha büyük rol oynar. Beton karışımında seçilen agreganın dayanımı ne kadar yüksekse betonun dayanımı da o derece yüksek olduğundan ve düşük su/çimento oranlarında mekanik kenetlenmenin artması nedeniyle kırmataş agregalar yüksek beton dayanımı sağladıkları için deneylerimizde kırmataş agrega ve granüle yüksek fırın cürufu kullanılmıştır. Granüle yüksek fırın cürufu Kardemir A.Ş.'den temin edilerek kullanılmıştır. Agregaların elek analizi TS EN 3530 933-1'e göre özgül ağırlık deneyleri TS EN 1097-6'ya göre ve su emme deneyleri TS EN13057'e göre yapılmış olup Tablo 3.3'de gösterilmiştir.

Tablo 3.3: Agregaların elek analizi, Yoğunluk ve Su emme özellikleri.

ELEK (mm)	Geçen (%)								Özellikler	
	0,25	0,5	1	2	4	8	16	32	Yoğunluk (g/cm ³)	Su emme (%)
Kırma kum (0-4)	10	31,2	54	72	100	100	100	100	2,68	2,59
Kırmataş I (4-11,2)	1,8	3,9	4,6	6,6	12	66	94	100	2,69	1
Kırmataş II (11,2-22,4)	0,5	1,3	2,9	3,2	4,4	6	38	100	2,69	1
GYFC (0-4)	18,5	27,4	46,4	63,1	95,1	100	100	100	2,08	3.5



(a) Kırma kum



(b) GYFC



(c) Kırmetaş I



(d) Kırmetaş II

Şekil 3.2: Çalışmada kullanılan agregalar.

3.1.3 Su

TS EN 1008'e göre içilebilir nitelik taşıyan sular betonda kullanıma uygundur. Bağlayıcı maddenin kimyasal reaksiyonunu başlattığı ve agregaları ıslatarak betonun işlenebilirliğini sağladığı için betonun basınç dayanımına miktarının (su/ çimento) önemi kadar kimyasal özellikleride önemlidir. Ancak suların betonlarda kullanılıp kullanılmayacağı ve uygun kalitede olup olmadığı deneyler yapılarak tespit edilmektedir. Asit özelliği taşımamalı zararlı etkisi olacak oranda karbonik asit, mangan bileşikleri, amonyum tuzları, serbest klor, madensel yağlar, organik maddeler ve endüstri atıkları içermemelidir. Bu çalışmada

Bartın ili şehir şebekesinin suyu kullanılmıştır.

3.1.4 Yüksek fırın cürufu

Bu çalışmada, Karabük-Demir Çelik Fabrikası'nın atığı olan Granüle yüksek fırın cürufu kullanılmıştır. Cürufun özgül ağırlığı 2.08 g/cm^3 olarak ölçülmüştür. Çalışmada kullanılan Granüle yüksek fırın cürufunun kimyasal içeriği Tablo 3.4'de gösterilmiş olup cürufun görseli ise Şekil 3.3'de verilmiştir.

Tablo 3.4: Yüksek fırın cürufunun kimyasal analiz sonuçları.

İçerik (%)	YFC
SiO ₂	35,09
S	0,66
Al ₂ O ₃	17,54
FeO	0,7
CaO	37,79
MgO	5,5
P ₂ O ₅	0,37
MnO	0,83



Şekil 3.3: Granüle yüksek fırın cürufu.

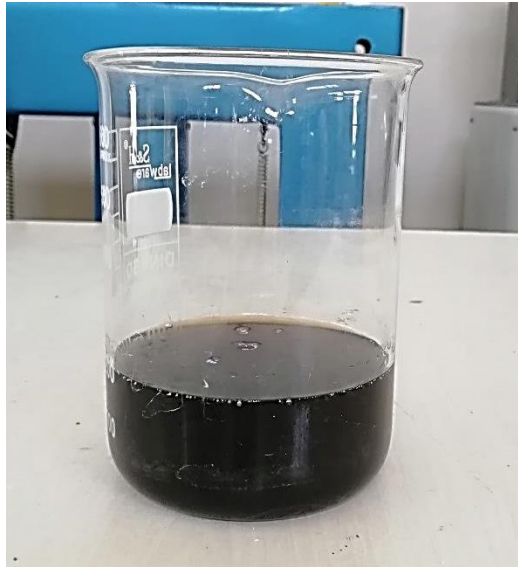
3.1.5 Kimyasal katkılar

Akışkanlaştırıcılar, betondaki işlenebilirliğin veya aynı kıvamın daha az su ile elde edilmesini sağlarlar. Akışkanlaştırıcı kimyasal katkılar kullanılarak su miktarı azaltıldığında, su/çimento oranındaki bu azalmalar betonun her yaştaki dayanımını önemli ölçüde artırmaktadır.

Bu çalışmada kimyasal katkı malzemesi olarak polisan politon 600 polikarboksilat bazlı süper akışkanlaştırıcı kimyasal katkı malzemesi kullanıldı. Kimyasal katkı malzemesinin genel özellikleri Tablo 3.5’de gösterilmiştir.

Tablo 3.5: Süper akışkanlaştırıcı katkı maddesinin özellikleri.

Malzeme Yapısı	Analiz değerler
Renk	Kahverengi
Yoğunluk	1,069-1,109 g/cm ³
Klor %	<0,1
Alkali %	<3



Şekil 3.4: Katkı malzemesi olarak kullanılan süper akışkanlaştırıcı.

3.2 Metot

3.2.1 Karışım Oranları

Deneysel çalışmada, kırma kum ile Granüle yüksek fırın cürufu sırasıyla % 0, % 25, % 50, % 75, % 100 oranlarda yer değiştirilerek kullanılmıştır. Çimento dozajı ve su/çimento oranı bütün karışımlarda sabit tutulmuştur. Tüm karışımlar için süper akışkanlaştırıcı da bütün karışımlarda sabit tutulmuştur.

Tablo 3.6: Beton karışım oranları.

Seri adı	Çimento (kg/m ³)	Su/Çimento	İri Agrega (kg/m ³)	Kırma kum (%)	YFC agregası (%)
A1	300	0,40	1100	100	0
A2	300	0,40	1100	75	25
A3	300	0,40	1100	50	50
A4	300	0,40	1100	25	75
A5	300	0,40	1100	0	100

3.2.2 Numunelerin Üretimi

Çalışmada beton mikseri kullanılmış olup karışım süresi Türk Standartlarına uygundur. Tasarlanan miktarlardaki malzemeler yatay eksenli mikserlerde karıştırılarak hazırlanmış olan beton kalıplarına yerleştirilmiştir. Beton kalıpları TS 11222 Hazır Beton Standardına uygun olarak küp dayanımları için 15 cm ayrıtlı ve silindir dayanımları için çapları 15cm yükseklikleri 30 cm olan kalıplar kullanılmıştır. Beton numuneler, silindir kalıplara yüksekliği 10 cm olacak şekilde ve eşit tabakalar halinde üç tabaka olacak şekilde, 15 cm ayrıtlı küplere iki tabaka olacak şekilde doldurulmuştur. Çapı 16 mm uzunluğu 60 cm olan paslanmaz çelikten yapılmış daire kesitli sıkıştırma çubuğu ile her tabaka 25'er defa şişlenmiştir. Sıkıştırma sonrasında kalıbın dış kenarlarına tokmak ile yavaşça vurularak boşluk kalmaması sağlanmıştır. Kalıbın üst yüzeyinde betonun görünen yüzü çelik mala ile düzeltilmiştir. Numuneleri aldığımız yerde rüzgardan ve nem kaybından etkilenmeyecek şekilde 24 saat kalıpta bekletildikten sonra kalıplarından çıkartılmıştır. Kalıptan çıkarılan numuneler deneyler yapılincaya kadar 23+2 °C ve % 95 neme sahip kirece doygun kür havuzunda bekletilmiştir.



Şekil 3.5: Beton mikseri.



Şekil 3.6: Kür havuzu.

3.2.3 Numuneler üzerinde yapılan deneyler

Üretilen beton numuneleri üzerinde taze beton özellikleri olarak slump, birim ağırlık, sertleşmiş beton özellikleri olarak ta basınç dayanımı, birim ağırlık, su emme miktarları, elastisite modülü, Ultrases geçiş hızı TSE standartlarında verilen yöntemler kullanılarak belirlenmiştir.

3.2.3.1 Slump (Çökme)

Beton mikseri kullanılarak betonlar üretilmiş olup slump çökme miktarları ve kıvamı ölçülmüştür. Deneyde kullanılan slump hunisi paslanmaz çelikten yapılmış olup taban çapı 20 cm, üst çapı 10 cm, yüksekliği 30 cm'dir. Taze beton, beton mikserinden el arabasına alınarak slump testi için hazırlanan alana taşındı.. Huniye üç tabaka halinde dolduruldu. Eşit tabakalar halinde huniye yerleştirildiklerinde 25 defa şişlendi. Şiş dairesel kesitli düz bir çubuk olup boyu 60 cm, çapı 16 mm dir. Huni tamamen doldurulup şişlendikten sonra üzeri malayla tesviye edildi. Huni sarsmadan düşey yönde kaldırıldı. Boş huni bir miktar çöken betonun yanına konuldu. Şişleme çubuğu huninin üzerine yatay olacak şekilde konularak şişleme çubuğunun alt hizasından çöken betonun üst yüzeyinden 3 farklı noktadan ölçülerek ortalaması alındı. Betonların çökme miktarları belirlendi. Çökme deneysel çalışmaları Şekil 3.7'de görülmektedir.



(a) Betonun şişlenmesi



(b) Betonun mastarlanması



(c) Huniyi çekme



(d) Çökme miktarlarının ölçülmesi

Şekil 3.7:Çökme deney çalışmaları.

3.2.3.2 Birim Ağırlık

Numuneler 24 saat sonra kalıplardan çıkartılarak kirece doygün kür havuzlarında 7 ve 28 günlük süreler boyunca kürlenmiştir. Bu sürelerin sonunda kür havuzlarından çıkarılan numunelerin ıslak ağırlıkları ve kuru ağırlıkları tartılarak birim ağırlıkları tayin edilmiştir.

$$D = \frac{m}{V} \quad (3.1)$$

D : Numunenin nem durumu ve hacim tayini metoduna bağılı olarak yoğunluğu (kg/m³)

m : Numunenin, deney esnasındaki durumuna bağılı kütlesi (kg)

V : Numunenin özel metotla tayin edilen hacmi (m³) dür.



(a) Betonun kuru ağırlığı



(b) Betonun ıslak ağırlığı

Şekil 3.8: Birim ağırlık deney çalışmaları.

3.2.3.3 Basınç Dayanımı

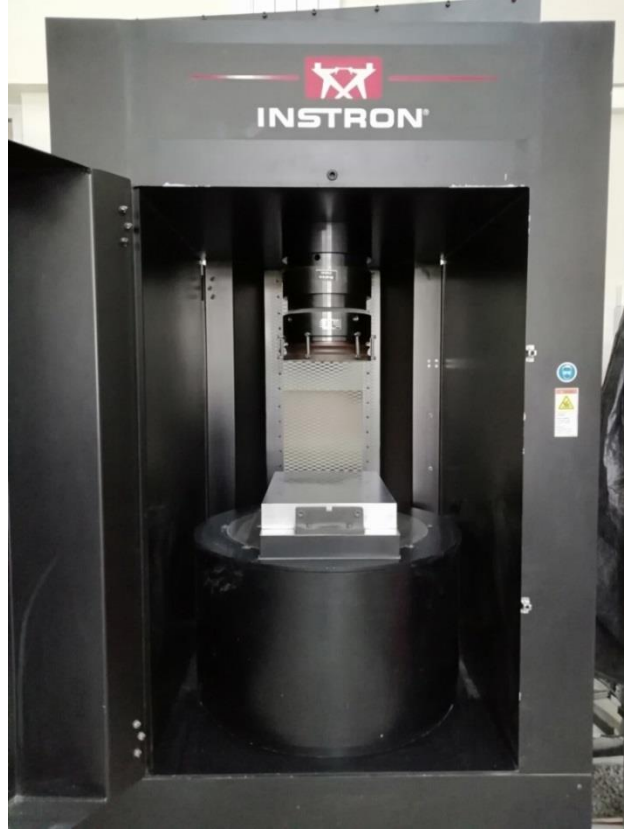
Beton numuneler 7 ve 28 günlük süreler sonunda kür havuzlarından çıkarılarak tek eksenli basınç deneyine tabi tutulmuştur. Deneyler TS EN 12390-3 standardına uygun yapılmıştır. Basınç dayanımlarının deneylerinde 7 ve 28 gün bekletilmiş olan küp ve silindir örnekler, 5000 kN kapasiteli bilgisayar kontrollü hidrolik beton presi kullanılarak basınç dayanımları ölçülmüştür.

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (3.2)$$

σ : Basınç dayanımı (N/mm²)

P : Kırılma yükü (N)

A : Yüklemenin yapıldığı kesit alanı (mm²)

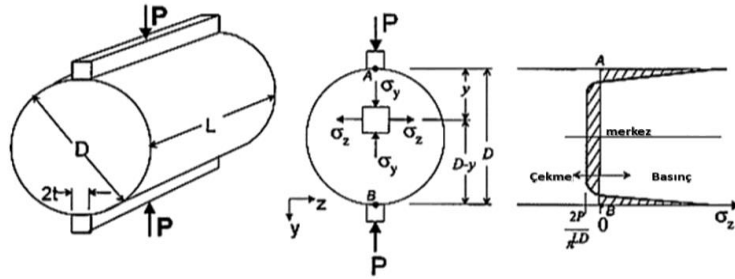


Şekil 3.9: Beton basınç cihazı.

3.2.3.4 Yarmada Çekme Dayanımı

Yarmada çekme dayanımı testi TS EN 12390-6 standardına uygun olarak yapılmıştır. Yarmada çekme dayanımı deneyinde silindir şekilli beton numuneler kullanılmıştır. Deney yapılacak silindir numuneler prese uzun kenarı boyunca yatırılmıştır. Prese temas eden kısımlarına kontrplak çıta konulmuştur. Numune kırılıncaya kadar basınç uygulanarak kırılma yükü ölçülmüştür. Aşağıdaki formüle göre çekme gerilmesi hesaplanmıştır.

$$\text{Çekme Gerilmesi} = \frac{2P}{\pi LD} \quad (3.3)$$



Şekil 3.10: Yarma Deneyi ve Yanal Gerilme Dağılımı.



Şekil 3.11: Yarmada çekme deneyi.

3.2.3.5 Su Emme

Hazırlanan yüksek fırın cüruf ikameli betonların su emme miktarlarını belirlemek amacıyla TS 3624 standardına uygun olarak deneyler gerçekleştirilmiştir. 48 saat boyunca suya doyurulan örneklerin ağırlıkları ölçülmüş, daha sonra örnekler değişmez ağırlığa gelinceye kadar etüvde kurutulmuştur. Numunelerin ıslak ve kuru ağırlıkları arasındaki fark belirlenmiş ve su emme değerleri hesaplanmıştır.

$$S_a = \frac{P_1 - P_0}{P_0} \times 100 \quad (3.4)$$

S_a : Su emme yüzdesi (%)

P_0 : Ortam nemi ağırlığı (gr)

P_1 : Suyu doymuş ağırlık (gr)

3.2.3.6 Elastisite Modülü

Silindir olarak üretilen örneklerden tek eksenli basınç dayanımı testi esnasında silindir numunelerin tam ortasına gelecek şekilde elastik modül çerçevesi takılarak elastisite modülü değerleri elde edilmiştir. Betonun elastisite modülü betonun rijitliğinin karşılığı olup şekil değiştirmeye karşı koyabilme kapasitesinin göstergesidir. Betonun basınç dayanımına etki eden faktörlerin hepsi elastisite modülü üzerinde de etkilidir.

$$\sigma = \varepsilon \times E \quad (3.5)$$

σ : Gerilme (MPa, kgf/cm²)

ε : Birim şekil değiştirme

E: Elastisite modülünü (MPa, kgf/cm²)

Bazı ülkelerin şartnamelerinde betonun birim ağırlığı ve basınç dayanımı kullanılarak elastisite modülü değerinin hesaplanması için önerilen formüllere göre hesaplanmış olup bu ampirik formüller aşağıda gösterilmiştir.

Amerikan Beton Enstitüsü (ACI) tarafından elastisite modülü değerinin hesaplanması için önerilen formül (ACI building code 318-92):

$$E = 0.043 W^{3/2} \sigma^{1/2} \quad (3.6)$$

Avrupa Beton Komitesi (CEB) tarafından elastisite modülü değerinin hesaplanması için önerilen formül (CEB-FIP model code for concrete structures, bull. 124/125):

$$E = 9500 (\sigma + 8)^{1/3} \quad (3.7)$$

Türk Standartları Enstitüsü (TSE) tarafından elastisite modülü değerinin hesaplanması için önerilen formül:

$$E = 14000 + 3250 \sigma^{1/2} \quad (3.8)$$

Norveç Standartları (NS) tarafından elastisite modülü değerinin hesaplanması için önerilen formül:

$$E = 9,5 (f_c)^{0,3} \quad (3.9)$$

E: Elastisite Modülü, MPa

W: Birim Ağırlık, kg/m³

σ : Basınç Dayanımı, MPa

8: Karakteristik ile ortalama basınç dayanımı farkının tahmini değeri

f_c : Basınç Dayanımı, MPa



Şekil 3.12: Betonda elastisite modülü deneyi.

3.2.3.7 Ultrases Geçiş Hızları

TS EN 12504-4 standardına göre ultrasonik ses geçiş hızı cihazı kullanılarak değerlendirmeler yapılmıştır. Betonun üniformluğunu kontrol eden bir test yöntemidir. Betonun yüzeylerine yerleştirilen vericilerle betonun bünyesinde ultrases ses dalgaları oluşturuldu. Oluşturulan bu ultrases dalgalarının beton bünyesinden geçiş süresi hesaplandı. Ultrasonik ses geçiş hızı deneyi, bir ses dalgasının malzemeyi ne kadar sürede kat ettiği esasına dayalı bir testtir. Bu testten elde edilen sonuçlar ile mekanik özellikler arasında bir ilişki olduğu bilinmektedir. Bir malzemenin içyapısı daha dolu ve sıkı ise, ses dalgalarının bu malzeme içerisinden geçişi daha hızlı olacaktır. Boşluklu malzemelerde ise ses geçişi daha yavaş olacak, malzeme içerisindeki boşluklar izolasyon meydana getirecektir.

$$V = \left(\frac{L}{t}\right) \times 10 \quad (3.6)$$

V: Ultrases dalganın hızı (m/s)

L : Ultrases dalga gönderilen yüzey ile dalganın alındığı yüzeyi arasındaki mesafe (m)

t : Ultrases dalgasının varış süresi (μ s)

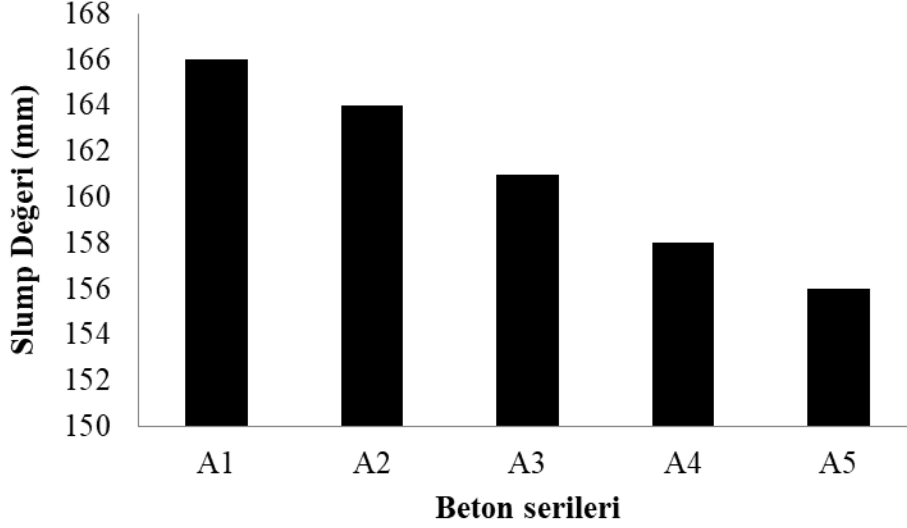


Şekil 3.13: Ultrasonik ses cihazı.

BÖLÜM 4

BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1 İşlenebilirlik Deneyi Sonuçları ve Değerlendirmesi

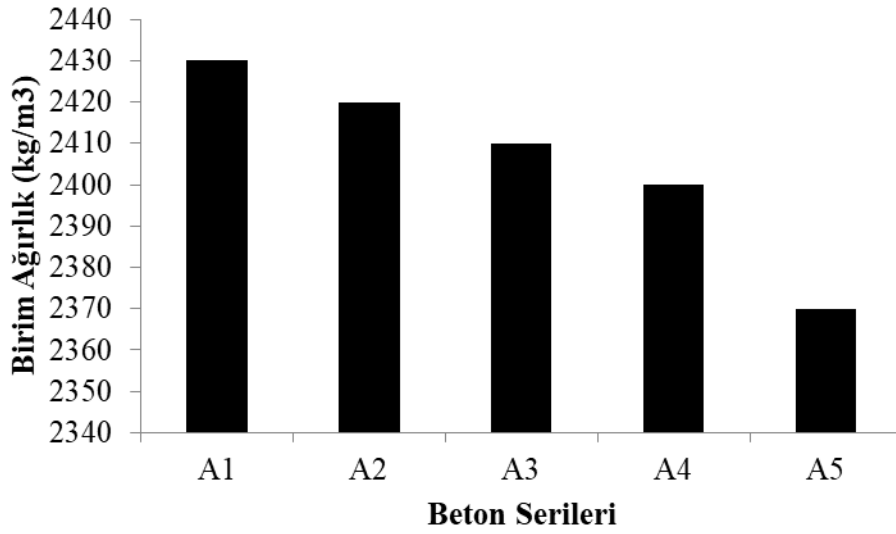


Şekil 4.1: Betonların işlenebilirlik değerleri.

Betonların işlenebilirliğini gösteren slump değişimleri Şekil 4.1’de verilmiştir. Şekil 4.1’den anlaşılacağı üzere, betonların slump değerleri 156 mm ile 166 mm arasında değişim göstermektedir. Yüksek fırın cürufunun beton bünyesindeki oranının artması ile çökme değeri azalma göstermektedir. Referans betona göre kıyaslandığında bünyede yüksek fırın cürufu kırma kum ile %100 oranında yer değiştirdiğinde işlenebilirliğin bir göstergesi olan slump değerinde 10 mm azalmaya neden olmaktadır. Bu azalma değeri % 100 gibi yüksek bir değişim oranında olmayıp ihmal edilebilir bir değer olarak görünmektedir. Çökme değerindeki azalmanın nedeni yüksek fırın cürufunun tane yapısının kırma kumun yapısına göre daha boşluklu bir yapıya sahip olmasıdır. Karışımda kullanılan su miktarı ve kimyasal katkı miktarının da sabit tutulmasıyla karışım suyu yüksek fırın cürufunun bünyesindeki gözeneklerinde tutulması sonucu işlenebilirlik azalmaktadır. Ayrıca elek analiz değerlerine bakıldığında kırma kumun 0.25 mm’lik elekten geçen değeri %10 iken yüksek fırın cürufunda bu değer % 18.5’dir. İnce partikül oranın yüksek fırın cürufundan dolayı fazla olması yüksek fırın cürufunun su ihtiyacının artmasına neden olmaktadır. Bu işlenebilirliğin azalmasında rol oynayan bir diğer önemli bir etken parametre olarak göze çarpmaktadır. Yüksek fırın cürufunun su emme oranının (%3.5) kumunkine (%2.59) göre fazla olması da bunu göstermektedir. Elden edilen çökme

değerleri TS EN 206-1 çökme sınıflarında S4 kategorisine düşmektedir.

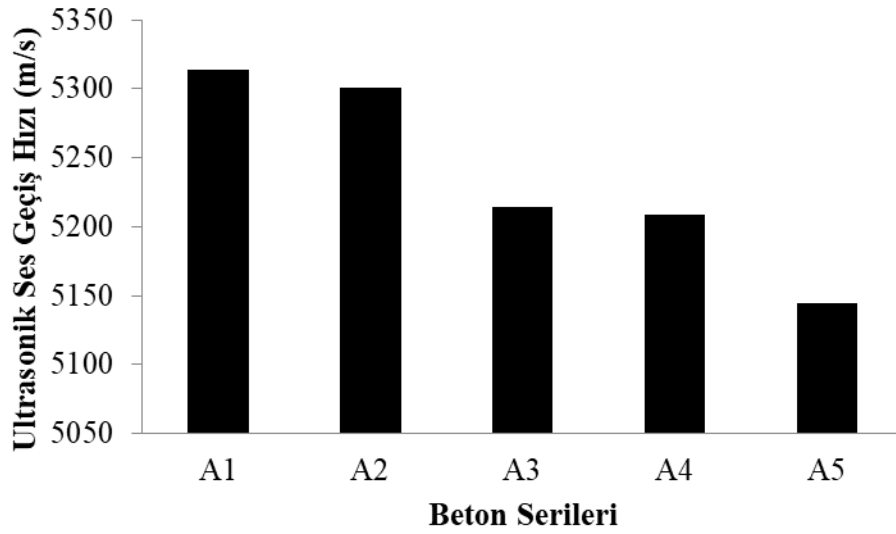
4.2 Birim Hacim Ağırlık Deney Sonuçlarının Değerlendirmesi



Şekil 4.2: Birim hacim ağırlık değişimleri.

Üretilen betonların 28. günden sonraki sertleşmiş birim hacim ağırlık varyasyonları Şekil 4.2’de verilmektedir. Şekil 4.2’den de anlaşılacağı üzere, birim hacim ağırlık değerleri 2.37 ile 2.43 g/cm³ bandında değişim göstermektedir. Burada yüksek fırın cürufunun karışım içerisindeki oranının artması ile orantılı olarak birim hacim ağırlığının düşüş eğiliminde olduğu görünmektedir. Bu düşüş miktarı az olsa da yapıda kullanılan toplam beton miktarı göz önüne alındığında yapı ağırlığında (ölü yük) azalmaya neden olacaktır. Düşmenin gerekçesi yüksek fırın cürufunun özgül ağırlığının kırma kumun özgül ağırlığına oranla nispeten çok az da olsa düşük olmasıdır. Betonun içeriğinde kullanılan malzemelerin özgül ağırlıkları betonların birim hacim ağırlığını belirleyen etkenlerdir. Ayrıca betonun içerisinde belirli hacim kaplayan havada birim hacim ağırlığını etkilemektedir. Betonların dayanımlarıyla birim hacim ağırlıkları birbirine endekslenmiş ilişkide olduğu Şekil 4.2 ve Şekil 4.4’deki grafiklerde görüldüğü gibi birim hacim ağırlığındaki azalmalarda beton basınç dayanımlarında da azalmalar olmuştur.

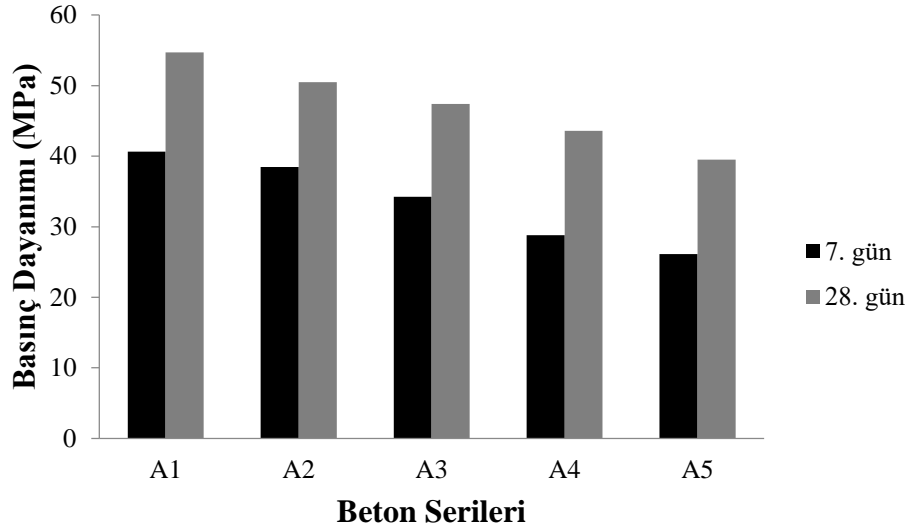
4.3 Ultrasonik Ses Deney Sonuçlarının Değerlendirmesi



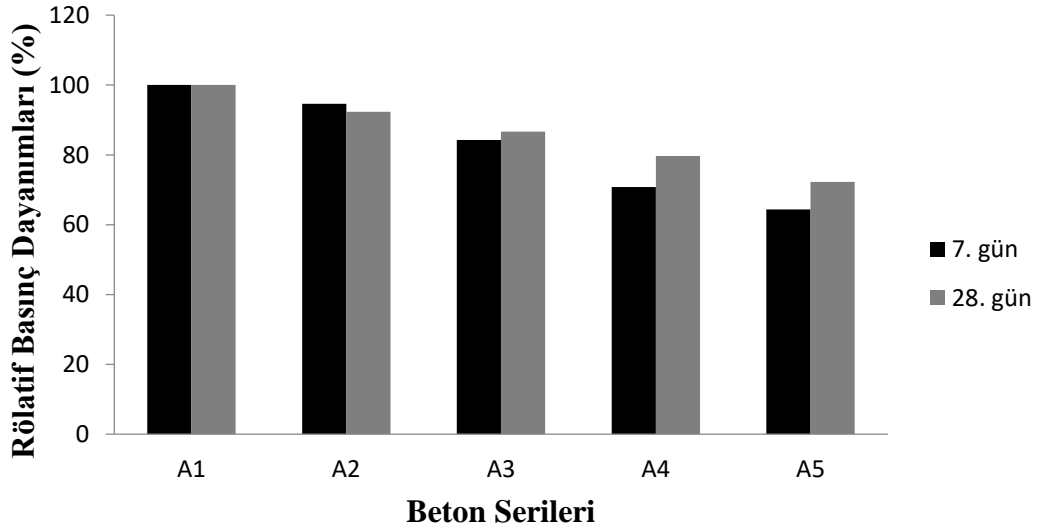
Şekil 4.3: Ultrases geçiş süreleri.

Üretilen betonların ultrases geçiş süreleri Şekil 4.3’de verilmiştir. Şekil 4.3’den de anlaşılacağı 5000 m/s’nin üzerindedir. Beton bünyesindeki yüksek fırın cürufunun artması ile geçiş süreleri azalma göstermektedir. Ancak bu azalma betonun kalitesine bir azalma anlamı taşımamaktadır. Whitehurst betonları ultrases geçiş sürelerine göre sınıflandırmıştır (Whitehurst, 1951). Bu sınıflandırmaya göre geçiş süresi 2000 m/s’nin altında olan çok zayıf, 2000-3000 m/s aralığında olan zayıf, 3000-3500 m/s aralığındakiler şüpheli, 3500-4500 m/s olanlar iyi ve 4500 m/s’nin üzerinde olanlar mükemmel olarak nitelendirilmiştir. Bu sıralamaya göre elde edilen tüm beton değerleri mükemmel olduğu görülmüştür. Ultrases geçiş süresi betonun içyapısı ile büyük oranda ilgilidir. Betondaki boşluk oranları ne kadar fazla olursa ses dalgasının geçiş süresi uzayacaktır. Dolayısı ile kat edilen mesafe ise azalacaktır. Granüle yüksek fırın cürufunun gözenekli yapısı ses dalgasının geçiş hızına azda olsa etki ettiği görünmektedir. Yine de ultrases geçiş süreleri betonun basınç dayanımını sayısal olarak (MPa olarak) bir fikir verememektedir.

4.4 Basınç Dayanım Deney Sonuçlarının Değerlendirmesi



Şekil 4.4: Basınç dayanımı değişimleri.

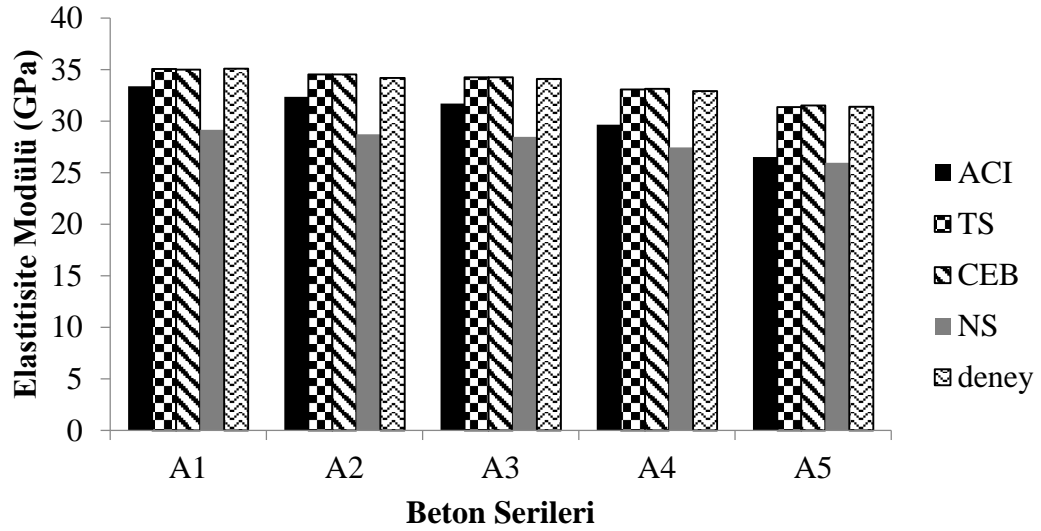


Şekil 4.5: Betonların rölatif basınç dayanımı oranları.

Üretilen betonların basınç dayanımları Şekil 4.4’de rölatif değişimleri ise Şekil 4.5’de verilmiştir. 7. Gün dayanımları 26 ile 40 MPa arasında değişim gösterirken 28. Günde bu değişim yaklaşık 40 ile 55 MPa bandında seyretmektedir. Yenilenen deprem yönetmeliğine göre betonarme yapı elemanlarının imalinde kullanılacak betonların 25 MPa basınç dayanımından az olması istenmemektedir. Üretilen betonlara bakıldığında hem 7. hem de 28. Günde betonların basınç dayanımları azalma eğiliminde olsa da %100 granüle yüksek fırın cürufu içeren betonun 7. günde 25 MPa değerine sahip olduğu görülmüştür. Şekil 4.4’e bakıldığında görüleceği üzere 7. günde en fazla cürufun yer değişiminin yapıldığı A5 betonunda % 40’a yakın değer kaybı göze çarpmaktadır. Bu oran 28. günde ise %36

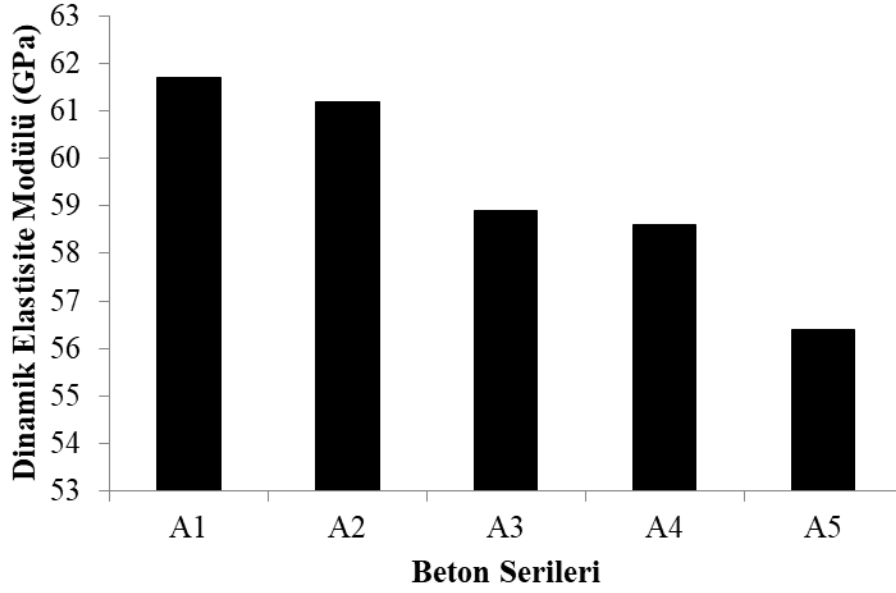
civarında kaldığı gözlenmektedir. Betonun basınç dayanımı beton diğer özelliklerini ve kalitesini kategorize etmekte en önemli parametrelerden bir tanesidir. Elde edilen betonların yapısal uygulamalarda rahatlıkla kullanılabilceği gösterilmiştir (Bilir vd., 2017). 350 kg/m³ çimento dozajı kullanarak da %50 yüksek fırın cürufunu kum ile yer değiştirdikleri çalışmada 28. Günde elde ettikleri basınç dayanımlarında %20 dayanım kaybı gözlemlenmiştir. Bu çalışmada daha düşük çimento miktarı ve %100 gibi yüksek bir oranda granüle yüksek fırın cürufunun kullanılması ile elde edilen değer daha çok atık geri dönüştürebilen ve daha iyi bir basınç dayanımı performansı ortaya koyan bir çalışma olduğu görülmektedir.

4.5 Betonların Elastisite Modüllerinin Değerlendirmesi



Şekil 4.6: Değişik Kuruluşların Elastik Modül Formülleri Kullanılarak Sonuçların Karşılaştırılması.

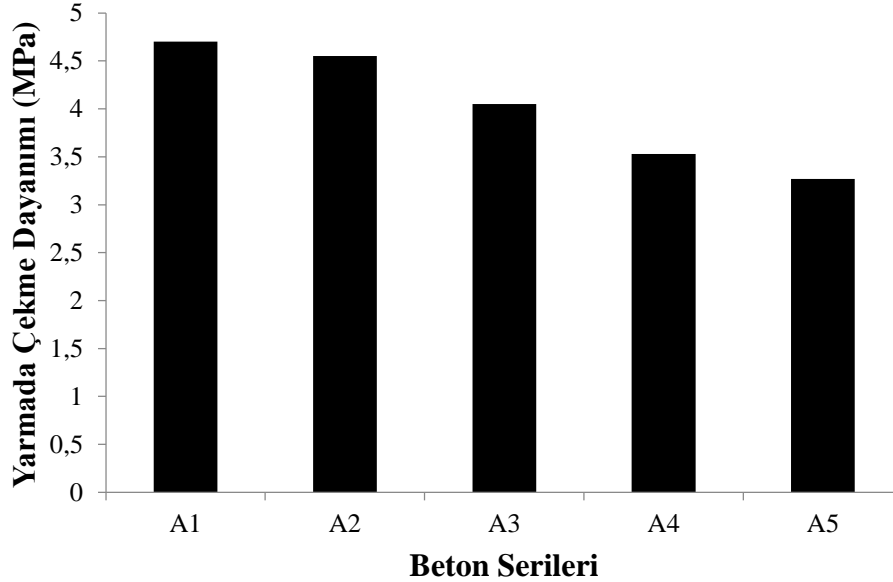
Şekil 4.6'da betonların elastisite modülleri bazı teorik formüller kullanılarak karşılaştırılmıştır. Tüm formüllerde 25 GPa üzerinde bir değer elde edildiği gözlemlenirken ACI, TS ve CEB'in sonuçlarının 35 GPa'ın civarında seyretmektedir. NS standardında ise tahmin edilen elastisite modülünün basınç dayanımı sonuçlarını takip eden bir eğilim göstermektedir. NS daha düşük bir değer sunmaktadır. ACI'nın verdiği değerler cüruf miktarının artışına daha duyarlı olduğu gözlenmektedir.



Şekil 4.7: Betonların dinamik elastisite modülü varyasyonları.

Şekil 4.7’de beton serilerinin dinamik elastisite modülü değışimleri verilmektedir. Şekil 4.7’den de açıkça anlaşılacağı üzere dinamik elastisite modülü değeri en düşük 55 GPa’ın üzerindedir. Cüruf miktarının artışına bağılı olarak dinamik elastisite modülünde azalmaktadır. Bu betonların basınç dayanımı ile aynı paraleldedir. Dinamik elastisite modülü hesaplanan teorik elastisite modülünden oldukça yüksektir. Bunun sebebi dinamik elastisite modülünde herhangi bir yük maruziyetinin olmayışı olabilir (Erdoğan, 2010).

4.6 Betonların Yarmada Çekme Deney Sonuçlarının Değerlendirmesi

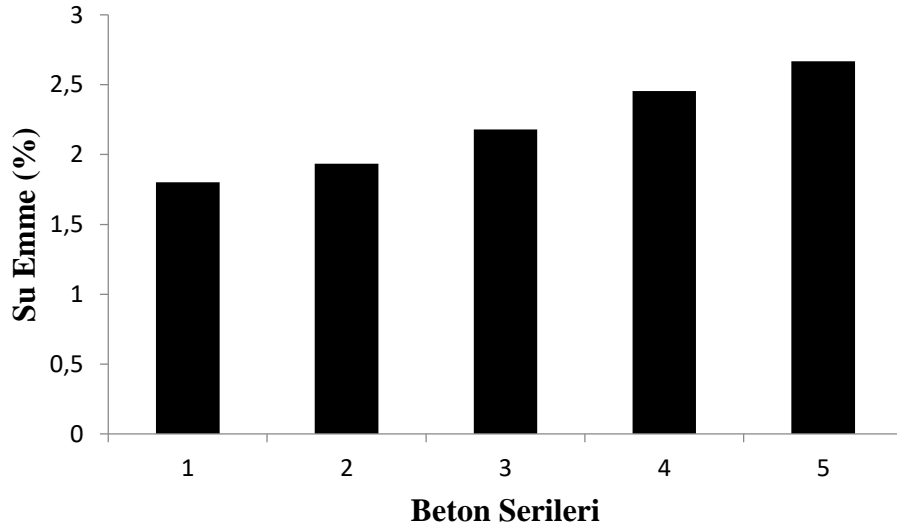


Şekil 4.8: Betonların Yarmada Çekme Dayanımı.

Şekil 4.8’de beton serilerinin yarmada çekme dayanımı silindir şekilli beton numuneler üzerinde yapılan deneylerde beton içerisindeki cüruf miktarının artması çekme dayanımını

azaltmaktadır. Üretilen betonların yarmada çekme dayanımı basınç dayanımı ile paralellik göstermektedir. Her iki testte de cüruf miktarının artışına bağlı olarak dayanımda azalma gözlenmektedir. Bu ilişki Gencil ve ark. (2012) tarafından gösterilmiştir. Kontrol numunesi ile karşılaştırıldığında yarma dayanımındaki kayıp A2 için % 4, A3 için %14, A4 için % 25 ve A5 için % 32 oranlarındadır. Yarma dayanımında azalma olmasına rağmen dayanım cürufun doğal kum ile % 100 yer değiştirmesi durumunda da 3.3 MPa'nın altına düşmediği gözlemlenmiştir. Şekil 3.11'de görüleceği üzere numuneler ideal bir kırılma göstermiştir.

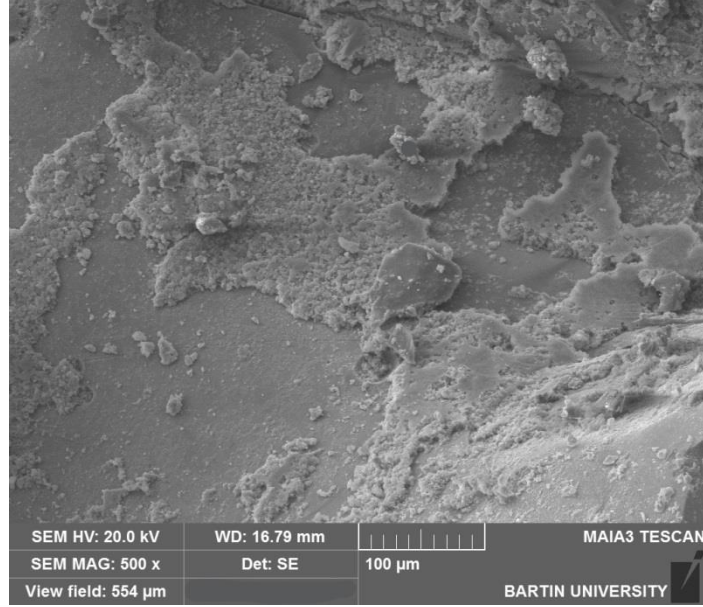
4.7 Su Emme Değerlerinin Değerlendirmesi



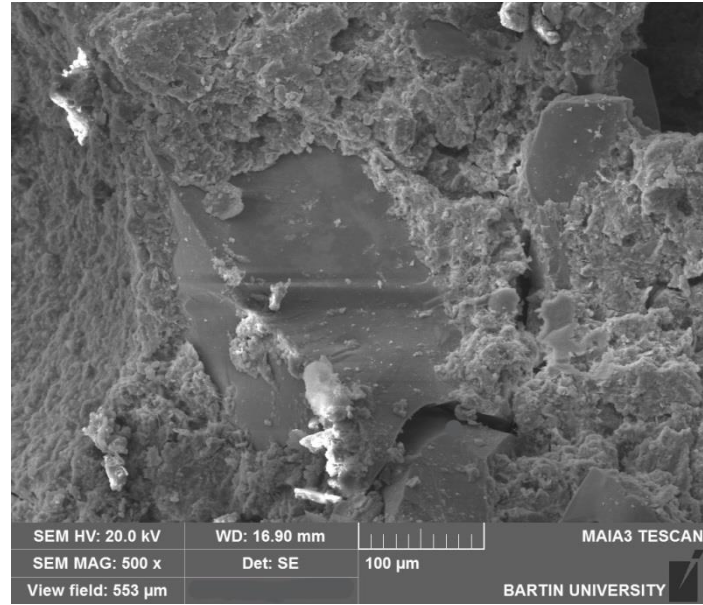
Şekil 4.9: Betonların su emme değerleri.

Üretilen betonların su emme değerleri Şekil 4.9'da verilmiştir. Su emme oranlarının düşük mertebelerde olduğu gözlemlenmektedir. Beton içerisindeki cüruf miktarının artması su emme oranını arttırmaktadır. Özellikle betonun donma çözülme davranışı düşünüldüğünde betonların su emme oranının düşük olması donma çözülmenin olumsuz etkilerinden daha az etkilenmesi anlamına gelmektedir.

4.8 Sem İncelemelerinin Değerlendirmesi



Şekil 4.10: % 50 GYFC ikameli beton numunesinden SEM görüntüsü



Şekil 4.11: %100 GYFC ikameli beton numunesinden SEM görüntüsü

% 50 GYFC ikameli beton numunesi ile % 100 GYFC ikameli beton numunesi karşılaştırılmış ve GYFC miktarı arttığında gözenek miktarının arttığı görülmüştür.

BÖLÜM 5

SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1 Genel Sonuçlar

Endüstriyel atık olan GYFC'nun kırma kum ile kısmi yer değiştirilmesi (ikamesi) sonucunda geleneksel beton agregalarının yerine belirli oranlarda kullanılabilirliğinin araştırıldığı bu çalışmada elde edilen bulgulara göre;

- Kırma kumun tane dağılımına benzerlik gösterdiği gözlemlenen GYFC'nun herhangi bir işleme tabi tutulmadan kırma kumun yerine beton üretiminde kullanılabileceği görülmektedir. Beton üretim maliyetlerine etkisinin olmadığı da anlaşılmaktadır.
- Üretilen karışımlarda GYFC agregası miktarının artmasıyla çökme değerleri ve işlenebilirlik hafif miktarda azalmaktadır. Bu durum GYFC agregalarının geleneksel beton agregalarından daha hafif olmasıyla açıklanabilir.
- GYFC'nun ince agrega olarak kullanımı beton basınç dayanım değerlerini düşürmüştür. Basınç dayanımına etki eden betonun yapısı, yoğunluğu ve boşluklu miktarıdır. Su ve çimento oranları değiştirilmediği için GYFC'nun su emme değerleri yüksek olduğundan kullanım miktarlarına göre betonun basınç değerlerine azalış yönünde etki etmektedir.
- Çevreye duyarlı beton üretiminin yapılabilirliği endüstriyel atıklardan bir tanesi olan GYFC kullanılarak araştırılmıştır. Beton üretiminde doğal kaynaklar kullanılırken atıkların değerlendirilerek doğanın korunması ve çevresel bilincinin oluşturulması amaçlanmıştır. Endüstriyel bir atık olan GYFC beton üretiminde kullanılarak milli ekonomimizin sürdürülebilirliğine katkı sağladığı anlaşılmaktadır. GYFC doğal kaynaklardan elde edilen ince agrega yerine kullanılabileceği görülmüştür.

- GYFC kullanımı betonun birim ağırlık değerlerini düşürdüğü görülmüştür. Taşıyıcı hafif beton üretiminde GYFC ile birim ağırlığı değişik ikame oranlarına bağlı olarak istenilen düzeyde tutulabileceği görülmüştür.
- GYFC'nun ultrasonik ses geçiş hızlarına etkisi azalma yönünde olduğu görülmüştür. Ultrasonik ses geçiş hızı ile mekanik özellikler arasında bir ilişki olduğu anlaşılmaktadır. GYFC'nun boşluklu içyapısı ses dalgalarının daha yavaş bir şekilde numunenin diğer ucuna ulaşmasına neden olduğunu göstermiştir.
- GYFC'nun inşaat sektöründe kullanılması çevresel ve ekonomik fayda sağladığından amacına ulaşıldığı ve geliştirmeye açık olduğu düşünülmektedir.

5.2 Öneriler

Bu çalışma kapsamında sonraki çalışmalarda daha detaylı olarak çalışılması ve yön verebilmek için aşağıdaki maddeler önerilebilir;

- GYFC'nun su emme değerlerinin yüksek olmasının sorun olmadığı araştırılmakta ve geliştirilmekte olan beton yol projelerinde araştırılmalıdır. Metraj olarak yüksek miktarlara tekamül eden yollarda doğal kaynakların kullanımı azaltılarak çevreye değer vermek ve endüstriyel atıkların geri dönüşümle ekonomimize kaynak sağlamak için değerlendirilmelidir.
- Karışımlarda kullanılan GYFC miktarının artırılması durumunda daha yüksek çimento miktarı ile aynı mukavemetin sağlanacağı düşünülmektedir. Bundan dolayı çimento miktarının artırılması yerine karışım oranı ile optimizasyon yapmanın uygun olacağı değerlendirilmektedir. Ayrıca hem agrega ile ikame oranları değiştirilirken hem de çimento miktarının ince öğütülmüş yüksek fırın cürufu ile de ikame oransal olarak değişimi incelenmelidir.
- İnşaat yapımında kullanılan harçlı imalatlarda (tesviye betonu, döşeme altlarındaki şap, sıva gibi) maliyetlere etkisi olmadığı için GYFC kullanımının araştırılması doğal malzemelerin kullanımının azaltılması bakımından önemli olduğu düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Babu, K. D. ve Kumar, V. S. R. (2000). Efficiency of GGBS in Concrete, *Cement and Concrete Research*, 30: 1031- 1036.
- Baradan, B vd. (2012). *Beton*, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları No:334, İzmir.
- Bilim, C. (2006). Yüksek Fırın Cürufu Katkısının Çimento Tabanlı Malzemelerde Kullanılabilirliği. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Adana.
- Bilim, C.-Atış,C.D. (2011). Öğütülmüş Granüle Yüksek Fırın Cürufu İçeren Harçların Aşınma ve Mukavemet Özellikleri, *Politeknik Dergisi*, Cilt:14 Sayı: 2 s. 101-107.
- Bilir, T. - Yüksel, İ.- Topçu, İ.- Gencil, O. (2017). Effects of Bottom Ash and Granulated Blast Furnace Slag as Fine Aggregate on Abrasion Resistance of Concrete. *Science and Engineering of Composite Materials*, 24, 261-269. 10.1515/secm-2015-0101.
- Burciaga-Diaz O. ve Escalante-Garcia J.I. (2013). Structure, mechanisms of reaction, and strength of an alkali-activated blast-furnace slag. *The American Ceramic Society*, 96(12): 3939– 3948.
- Chatterji, S. (2003). Freezing of air-entrained cement-based materials and specific actions of air-entraining agents. *Cement and Concrete Composites*, 25, 7, 759- 765.
- Chmielewski, T. ve Konopka, E. (1999). Statistical evaluations of field concrete strength, *Magazine of Concrete Research*, 51, 1, 45-52.
- Erdoğan, T. Y. (1997). *Admixtures for Concrete*. Ankara: The Middle East Technical University Press
- Erdoğan, T. Y. (2002). *Materials of Construction*. Ankara: The Middle East University Press.
- Erdoğan, T. Y. (2010). *Beton*. s.l.:ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş., Ankara.
- Erdoğan, T.Y. (2003). *Beton*. ODTÜ Geliştirme Vakfı ve Yayıncılık A.Ş., Ankara.
- Eroğlu, O. (2008). Maksimum Agregada Dane Boyutunun Elastisite Modülüne Etkisi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Erol, H. (2011). Çelik tel içeren betonarme kirişlerin mekanik davranışı, Bozok Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Yozgat.
- Ersoy,U. (1985).*Betonarme.Temel İlkeler ve Taşıma Gücü Hesabı*, Evrim Yayınevi İstanbul.

- Ersoy,U. (2000).*Betonarme.Temel İlkeler ve Taşıma Gücü Hesabı*, Evrim Yayınevi İstanbul.
- Eser,N. (2015) Yüksek Dayanımlı Beton Kalitesinin İncelenmesi Ve Yeni Bir Malzeme Katsayısı Önerilmesi, Yüksek Lisans Tezi Aksaray Üniversitesi, Aksaray.
- Fırat, F. K. ve Ağca, R. (2012). Yüksek dayanımlı betonda kalite denetimi, *Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Dergisi*, 25, 1, 75-89.
- Gencel, O., Koksal F., Ozel C. ve Brostow W. (2012). Combined effect of fly ash and waste ferrochromium on properties of concrete, *Construction and Building Materials* 29, 633-640.
- Kamolzoda, T. (2018). Farklı Dayanımlı Bazı Özel Betonlar İle Geleneksel Betonun Gerilme-Şekil Değişirme Davranışlarının Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi Atatürk Üniversitesi.
- Karakoç,M.B. (2010). Hafif Agreganın Ve Hava Sürükleyici Katkı Maddesinin Yüksek Dayanımlı Betonun Donma-Çözülme Dayanıklılığına Etkisinin İncelenmesi Ve Modellenmesi, Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi
- Newman, J. ve Choo, B. S. (2003). *Advanced Concrete Technology*. Oxford: Elsevier.
- Özbebek,H. (1993). Yüksek dayanımlı beton üretiminde kullanılan katkı maddelerinin betona etkisi Yüksek Lisans Tezi Çukurova Üniversitesi.
- Özyurt, N. (2000). Ultra Yüksek Dayanımlı Çimento Esaslı Kompozit Malzemelerin Mekanik Davranışı, Yüksek Lisans Tezi İTÜ, İstanbul.
- Reuter M., Xiao Y. ve Boin U. (2004). Recycling and environmental issues of metalurgical slags and salt fluxes. *VII. International Conference on Molten Slags, Fluxes and Salts*,349-356.
- Song, P. S., Wu, J. C., ve Hwang, B. C. (2005). Assessment of statistical variations in impact resistance of high-strength concrete and high-strength steel fiber-reinforced concrete, *Cement and Concrete Research*, 35, 2, 393–399.
- Soroka, I. (1993). Concrete in Hot Environments. National Building Research Institute, Faculty of Civil Engineering, *Technion-Israel Institute of Technology*, Haifa, 247.
- Tokyay, M. (2013). Betonda Uçucu Kül, Yüksek Fırın Cürufu ve Silis Dumanının rolü. *Beton 2013 Kongresi Çağrılı Bildiriler*, Cilt 2: 201-238, İstanbul.
- Tokyay, M. 2003. *Cüruflar ve Cürüflü Çimentolar*. Ankara: TÇMB.
- Tokyay, M. ve Erdoğan, K. (2003). Cüruflar ve cürüflü çimentolar, *Araştırmaların Gözden Geçirilmesi Raporu*, TÇMB Yayını, Ankara, 48.

- Tuna,M.E.(1992). *Betonarme*. Gazi Üniversitesi.
- Türkel, E. B. (2002). ‘Betonda Basınç Dayanımı İle Elastisite Modülü Arasındaki İlişkiler’, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018. Resmi Gazete, Sayı : 30364 (Mükerrer),18.03.2018.
- Uçar, S. (2015). Yeni Beton Standartları, *Türkiye Hazır Beton Birliği KGS İktisadi İşletmesi Direktörü. TS 13515 Beton Standartları semineri*, İnşaat Mühendisleri Odası Antalya Şubesi. (27.03.2015).
- URL 1 (2015). <http://www.climatetechwiki.org/technology/blastfurnace-slag>, 17.20. CLEAN TECHNOLOGY PLATFORM, 2015. (04.08.2015).
- URL 2 (2013). http://www.imo.org.tr/mevzuat/teknik_bilgiler.php
http://www.imo.org.tr/resimler/dosya_ekler/787a9fe2ee4fff1_ek.pdf?tipi=84&turu=X&sube=0, İMO 2013, Türkiye İnşaat Mühendisleri Odası, “Beton”, Mevzuat, Teknik Bilgiler.(01.10.2019).
- URL 3 (2015). www.tcma.org,18.36., OFFICIAL WEB SİTE OF TURKISH CEMENT MANUFACTURER ASSOCIATION. (04.08.2015).
- URL 4 (2017). <http://www.thbb.org/media/290192/thbb-%C4%B0statistikler-2017.pdf>, Türkiye Hazır Beton Birliği, 2017. Türkiye Hazır Beton Sektörü İstatistikleri. (02.12.2018).
- Üzümeri, Ş. M. ve Özden, Ş. (1991). Yüksek dayanımlı betonun inşaatı kullanımı konusunda standartlar ve yönetmeliklerdeki gelişmeler, *2.Ulusal Beton Kongresi*, İstanbul, Bildiriler Kitabı, 159-182.
- Whitehurst, E. (1951). *Soniscopes Tests Concrete Structures, J. of American Concrete Institute*, 443-444.
- Yanar, M. T. (2007). Mineral Karışımların Kendiliğinden Yerleşen Betonların Özellikleri Üzerindeki Etkileri, Yüksek Lisans Tezi Gazi Üniversitesi.
- Yılmaz K., Sümer M. ve Uysal M. (2005). Farklı Tür Akışkanlaştırıcı Katkıların Yüksek Dayanımlı Betonlar Üzerine Etkisi, *6. Ulusal Beton Kongresi, Yüksek Performanslı Betonlar*, İstanbul, 209-217.
- Yılmaz, F. ve Mertol, H. C. (2011). Türkiye’de yüksek dayanımlı betonun kullanımı-standartlar, tasarım ve yapım, *2.Köprü ve Viyadükler Sempozyumu*, Eskişehir.
- Yılmaz,K. ve Alemdar, M.Y.(2003). Yüksek Dayanımlı Betonlarda Numune Boyutundaki Değişimin Basınç Dayanımına Etkisi, *SAU Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 7.Cilt, Sayı (Eylül 2003)*, 241-247.

Zeynal, E. (2008). Çelik Lif ve S/Ç Oranlarının Çelik Lifli Betonların Darbe Mukavemetine ve Mekanik Özelliklerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, İzmir.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Anıl ÇAM
Doğum Yeri ve Tarihi : Emirdağ/ 22.4.1976

Eğitim Durumu

Lisans Öğrenimi : Erciyes Üniversitesi Yozgat Mimarlık Mühendislik
Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans Öğrenimi : Bartın Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat
Mühendisliği
Bildiği Yabancı Diller : İngilizce (Orta)
Bilimsel Faaliyet/Yayımlar : Çam, A. Gençel,O. Durgun, M.Y. (2019) “İnce Agregata
Olarak Granüle Yüksek Fırın Cürufunun Beton
Özelliklerine Etkisi”, 3rd International Symposium on
Innovative Approaches in Scientific Studies, Section:
Engineering and Natural Sciences, April 19 - 21, 2019,
Ankara, 523-532.

İş Deneyimi

Stajlar : Çiğli Belediyesi (İzmir)
İZSU (İzmir)
Projeler ve Kurs Belgeleri : AMP Yaklaşık Maliyet
Oska Yaklaşık Maliyet
Güncel Mevzuat
Çalıştığı Kurumlar : TOKİ İzmir Şantiyeleri Şantiye şefi
TOKİ İzmir Şantiyeleri Kontrol Mühendisi
TOKİ Aydın Denizli Muğla Şantiyeleri Kontrol Amiri
Bartın Üniversitesi İnşaat Mühendisi
Bartın Üniversitesi Daire Başkanı

İletişim

E-Posta Adresi : anilcamf@yahoo.com.tr

Tarih : .../.../20... (Tez Savunma Tarihi)