



T.C.

BARTIN ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**GRANÜLE YÜKSEK FIRIN CÜRUFUNUN KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN
BETON ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

HAZIRLAYAN

ONUR ŞEKER

DANIŞMAN

PROF. DR. OSMAN GENÇEL

BARTIN-2019



T.C.

BARTIN ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**GRANÜLE YÜKSEK FIRIN CÜRUFUNUN KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN
BETON ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN

ONUR ŞEKER

JÜRİ ÜYELERİ

Danışman	: Prof. Dr. Osman GENÇEL	- Bartın Üniversitesi
Üye	: Prof. Dr. Tayfun UYGUNOĞLU	- Afyon Kocatepe Üniversitesi
Üye	: Dr. Öğr. Üyesi Muhammed Yasin DURGUN	- Bartın Üniversitesi

BARTIN-2019

KABUL VE ONAY

Onur ŞEKER tarafından hazırlanan “GRANÜLE YÜKSEK FIRIN CÜRUFUNUN KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETON ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ” başlıklı bu çalışma, 28.06.2019 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 : Prof. Dr. Tayfun UYGUNOĞLU

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Muhammed 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 “GRANÜLE YÜKSEK FIRIN CÜRUFUNUN KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN 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.

28/06/2019

Onur ŞEKER

ÖNSÖZ

“Granüle Yüksek Fırın Cürufunun Kendiliğinden Yerleşen Beton Özelliklerine Etkisi” adlı tez çalışmasında, ilk günden son güne kadar, anlayışı, bilgisi ve tecrübesi ile desteğini hiç esirgemeyen değerli danışman hocam Prof. Dr. Osman GENÇEL başta olmak üzere, lisans ve yüksek lisans eğitiminde emeği geçen çok değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Muhammed Yasin DURGUN’a saygı ve sevgilerimi sunarım.

Bu tez çalışmasın yapılırken birçok kişinin desteği alınmıştır. Dostlarıma verdikleri destekten ötürü teşekkür ederim.

Son olarak, beni saygı ve sevgi ile yetiştiren ve eğitim hayatım boyunca desteklerini her an yanımda hissettiğim aileme teşekkür ederim.

Onur ŞEKER

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

GRANÜLE YÜKSEK FIRIN CÜRUFUNUN KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETON ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

Onur ŞEKER

Bartın Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Osman GENÇEL

Bartın-2019, Sayfa: 93

Beton üretiminde genellikle doğal agregalar tercih edilmesi, doğal hammadde kaynaklarında azalmaya yol açmakta ve çevreye olumsuz etki bırakmaktadır. Beton hacminin yaklaşık %70-80'i agregalardan oluşmaktadır. Bu nedenle hammaddelerin korunumu için alternatif kaynaklara yönelilmesi gereklidir. Granüle yüksek fırın cürufu yapısı nedeniyle çimento ve beton sektöründe sıklıkla kullanılan bir malzemedir. Bu kullanım, çimento yerine olduğu gibi bazen agrega yerine de kullanılabilir. Literatürde yüksek fırın cürufu agregalarının beton agregalarının tamamı veya bir kısmı yerine ve sıcak asfalt yüzey uygulamalarında kullanımına dair çeşitli çalışmalar mevcuttur. Bu şekilde doğal kaynakların korunumu sağlanmakta, aynı zamanda bir yan ürün olan ve değerlendirilmediğinde çevresel sorunlara yol açabilen yüksek fırın cürufu değerlendirilmektedir. Bu çalışmada, 400 kg/m³ çimento, 100 kg/m³ uçucu kül ve 0,45 sabit s/ç içeriği sahip kendiliğinden yerleşen betonlarda granüle yüksek fırın cürufu agregası, ince agrega yerine %0, 25, 50 ve 75 oranlarında kullanılmıştır. Üretilen betonların taze hal ile 7, 28 ve 90 günlük sertleşmiş özellikleri incelenmiştir. Taze hal özellikleri olarak taze birim hacim ağırlıkları, çökme-yayılma değerleri ile T₅₀₀ süreleri, J halkası ile T₅₀₀ süreleri, V hunisi, reoloji değerleri ölçülmüştür. Sertleşmiş hal özellikleri ise sertleşmiş birim hacim ağırlık ölçümü, basınç dayanımı testi, Schmidt çekici testi, ultrases hızı ölçümü, kılcallık ve elastisite deneyi yapılarak değerlendirilmiştir. Elde edilen

sonuçlara göre %25 ve 50 oranlarında taze hal özelliklerin iyileştiği, ancak basınç dayanımlarının granüle yüksek fırın cürufu agregası miktarı arttıkça azaldığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Kendiliğinden yerleşen beton; sertleşmiş özellikler; taze özellikler; yüksek fırın cürufu agregası.

Bilim Kodu: 624.05.01



ABSTRACT

M. Sc. Thesis

Effect of Granulated Furnace Slag on Properties Self-Compacting Concretes

Onur ŞEKER

Bartın University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Engineering

Thesis Advisor: Prof. Osman GENÇEL

Bartın-2019, pp: 93

Reserves of natural raw materials decrease and negative effect on environment occurs since natural aggregates have been usually preferred. Concrete contains about 70-80% aggregates in volume. So, to protect natural raw materials alternative ways are needed. Granulated furnace slag is a by-product that has been widely used in concrete and cement sectors. It can be used both for cement as replacement and for aggregate in concrete. In literature, studies exist about the usage of granulated furnace slag as aggregates in concrete as partially replacement and asphalt surface application. By this way, granulated furnace slag causing environmentally problem finds a usage area to eliminate its negative effect. In this study, granulated furnace slag was used as fine aggregate in the ratios of 0%, 25%, 50% and 75% to produce concrete with 400 kg/m³ cement, 100 kg/m³ fly ash and 0.45 w/c ratio. Fresh concrete properties and hardened concrete properties at 7, 28 and 90 days were studied. Unit weight of fresh concrete, slump-flow, T₅₀₀ time, J ring, V funnel and rheological properties were measured. On hardened concrete, unit weight, compressive strength, Schmidt hardness, ultrasound, capillarity and elasticity modulus were determined. According to results obtained, when it is used at the ratio of 25% and 50% workability of fresh concrete increases while compressive strength decreases.

Keywords: Blast furnace slag aggregate; fresh concrete properties; hardened concrete properties; self-compacting concrete.

Science Code: 624.05.01



İÇİNDEKİLER

Sayfa

KABUL VE ONAY	ii
BEYANNAME	iii
ÖNSÖZ.....	iv
ÖZET	v
ABSTRACT	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
TABLolar DİZİNİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xv
BÖLÜM 1 GİRİŞ	1
1.1 Beton	1
1.1.1 Betonların Sınıflandırılması	1
1.1.2 Betonun Dayanımı	2
1.1.3 Betonda Durabilite	3
1.1.4 Betonda Geçirimsizlik.....	4
1.1.5 Betonun Aşınması	4
1.2 Kendiliğinden Yerleşen Beton.....	4
1.2.1 Kendiliğinden Yerleşen Betonun Mühendislik Özellikleri.....	7
1.2.1.1 Basınç Dayanımı	7
1.2.1.2 Çekme ve Akma Dayanımı	7
1.2.1.3 Sünme.....	8
1.2.1.4 Büzülme.....	8
1.2.1.5 Dayanıklılık	8
1.2.2 Kendiliğinden Yerleşen Betonun Kullanım Alanları.....	8
1.2.2.1 Kendiliğinden Yerleşen Betonun Avantajları	9
1.2.2.2 Kendiliğinden Yerleşen Betonun Dezavantajları	9
1.2.3 Kendiliğinden Yerleşen Beton Bileşenleri.....	10
1.2.3.1 Çimento	10
1.2.3.2 Agrega	11

1.2.3.3 Beton Karma Suyu	12
1.2.3.4 Katkılar	12
1.3 Taze Beton	13
1.3.1 Taze KYB'nin Özellikleri	14
1.3.1.1 Doldurma Yeteneği	14
1.3.1.2 Geçme Yeteneği	14
1.3.1.3 Ayırmaya Karşı Direnç	15
1.4 Reoloji.....	15
1.5 Sertleşmiş KYB Özellikleri	19
1.5.1 Basınç Dayanımı	19
1.5.2 Erken Dayanım Kazanma Hızı.....	19
1.5.3 Boşluk Yapısı	19
1.6 Karışım Tasarımı	20
1.6.1 Beton Gereksinimleri	20
1.6.2 Karışım Tasarım Prensipleri	21
1.7 Uçucu Kül.....	22
1.7.1 Uçucu Külün Betonda Kullanımı.....	24
1.8 Granüle Yüksek Fırın Cürufu	25
1.8.1 Granüle Yüksek Fırın Cürufu Tarihçesi.....	26
1.9 Konunun Önemi ve Amacı.....	27
 BÖLÜM 2 LİTERATÜR	 28
2.1 Kendiliğinden Yerleşen Beton Üzerine Geçmiş Çalışmalar.....	28
2.2 Uçucu Kül Üzerine Geçmiş Çalışmalar	33
2.3 Granüle Yüksek Fırın Cürufu Agregaları Üzerine Geçmiş Çalışmalar	37
 BÖLÜM 3 MATERYAL VE METOT	 43
3.1 Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri	43
3.1.1 Agrega	43
3.1.2 Çimento	45
3.1.3 Yüksek Performanslı Süperakışkanlaştırıcı Kullanımı.....	46
3.1.4 Karışım Suyu	46

3.1.5	Granüle Yüksek Fırın Cürufu.....	46
3.1.6	Uçucu Kül.....	48
3.2	Yöntem	49
3.2.1	Agreganın Tane Dağılımı	49
3.2.2	Beton Karışımların Hazırlanması	49
3.2.3	Beton Üretimi	50
3.3	Taze Beton Deneyleri	51
3.3.1	Taze Birim Ağırlık Deneyi	51
3.3.2	Çökme-Yayılma Deneyi	52
3.3.3	V-Hunisi Deneyi	54
3.3.4	J-Halkası Deneyi	55
3.3.5	Reoloji Deneyi	56
3.4	Sertleşmiş Beton Deneyleri	59
3.4.1	Sertleşmiş Birim Ağırlık Deneyi.....	59
3.4.2	Basınç Dayanımı Deneyi	59
3.4.3	Schmidt Deneyi.....	60
3.4.4	Kılcallık Deneyi	61
3.4.5	Ultras ses Deneyi	62
3.4.6	Elastisite Modülü Deneyi.....	64
BÖLÜM 4 BULGULAR VE TARTIŞMA		67
4.1	Taze Beton Deney Sonuçları.....	67
4.1.1	Taze Birim Ağırlık Sonuçları	67
4.1.2	Çökme-Yayılma Sonuçları	68
4.1.3	T ₅₀₀ Süresi Sonuçları	69
4.1.4	V-Hunisi Akış Süresi Sonuçları	70
4.1.5	J-Halkası Sonuçları.....	71
4.1.6	Reoloji Deney Sonuçları.....	72
4.2	Sertleşmiş Beton Deney Sonuçları	73
4.2.1	Sertleşmiş Birim Ağırlık Sonuçları	73
4.2.2	Basınç Dayanım Sonuçları	74
4.2.3	Schmidt Deney Sonuçları	75
4.2.4	Kılcallık Deney Sonuçları	75

4.2.5	Ultrasen Deney Sonuçları	77
4.2.6	Elastisite Modülü Deney Sonuçları	78
BÖLÜM 5 SONUÇ VE ÖNERİLER.....		80
KAYNAKLAR.....		82
ÖZGEÇMİŞ.....		93



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil	Sayfa
No	No
1.1: Akışkan betonun sonucu olarak yapısal performans: malzeme davranışı, üretim etkileri ve yapısal sınırlar.....	7
1.2: Kayma gerilmesi-deformasyon oranı.	17
1.3: Kayma gerilmesi τ çok düşük bir sabit kayma hızında ve statik akma gerilmesi τ_{0S} ...	18
3.1: Karışımda kullanılan iri agrega ve ince agrega.	44
3.2: Karışımda kullanılan granüle yüksek fırın cürufu.	47
3.3: Karışımda kullanılan uçucu kül.	48
3.4: Taze birim ağırlık deneyi.	52
3.5: Çökme-yayılma deneyi.	53
3.6: V-hunisi deneyi.	55
3.7: J-halkası deneyi.	56
3.8: Reoloji deneyi.	58
3.9: ICAR Rheometer ekranı.....	58
3.10: Sertleşmiş birim ağırlıkları ölçülmüş numuneler.	59
3.11: Basınç dayanımı ölçme cihazı.....	60
3.12: Schmidt çekici.	61
3.13: Kılcallık deneyi.	62
3.14: Ultrases hızı ölçme aleti.	64
3.15: 7 günlük elastisite modülü deneyi.	65
3.16: 28 ve 90 günlük elastisite modülü deneyi.	66
4.1: 7 günlük kılcallık atış yüzdesi-zaman grafiği.	76
4.2: 28 günlük kılcallık atış yüzdesi-zaman grafiği.	76
4.3: 90 günlük kılcallık atış yüzdesi-zaman grafiği.	77

TABLÖLER DİZİNİ

Tablo No	Sayfa No
1.1: Kıvam sınıfları	2
1.2: Beton basınç dayanım sınıfları	3
1.3: KYB kabul kriterleri.....	5
1.4: KYB özelliklerinin sınıflandırılma değerleri ayrışma direnci.	21
3.1: Agregaların ait fiziksel özellikleri.....	43
3.2: Beton karışımları için agregaların elek analizi sonuçları.	44
3.3: Çimentonun fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	45
3.4: Çimentonun mekanik özellikleri.....	45
3.5: Polikarboksilat esaslı akışkanlaştırıcı katkı teknik özellikleri.	46
3.6: GYFC kimyasal özellikleri.....	47
3.7: Uçucu kül kimyasal özellikleri.....	48
3.8: 1 m ³ betona giren malzeme miktarı.....	50
3.9: KYB'ler için çökme-yayılma sınıflandırılması.....	53
3.10: KYB'ler için T ₅₀₀ sınıflandırılması.	53
3.11: KYB'ler için V-hunisi sınıflandırılması.....	54
3.12: KYB'ler için J-halkası sınıflandırılması.	56
4.1: Taze beton deneyleri ve sertleşmiş beton deneyleri.....	67
4.2: Taze betonun birim ağırlık sonuçları.	68
4.3: Yayılma mesafesi.	68
4.4: T ₅₀₀ süresi.	69
4.5: V-hunisi akma süreleri.	70
4.6: J-halkası yayılma ve T ₅₀₀ süresi.....	71
4.7: J-halkası PJ sonucu.	72
4.8: Reoloji deneyi sonuçları.....	72
4.9: Sertleşmiş betonun birim ağırlık sonuçları.....	74
4.10: Basınç dayanım deney sonuçları.....	74
4.11: Schmidt çekici ile yüzey sertlik ölçüm sonuçları.....	75
4.12: 24 saatlik kılcal su emme deneyi sonuçları.....	75
4.13: Ultrases geçiş hızı deneyi sonuçları.	77
4.14: Elastisite modülü deneyi sonuçları.....	78

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

ε	: Eksenel şekil değiştirme
τ_0	: Kayma eşiği
μ	: Mikron
σ	: Normal gerilme
η_{pl}	: Plastik viskozite
pH	: Potansiyel hidrojen
T_{500}	: 500 mm yayılma süresi

KISALTMALAR

ACI	: American Concrete Institute
ASTM	: American Society for Testing and Materials
BSI	: British Standards Institution
EFNARC	: European Federation for Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems
EN	: European Norm
JIS	: Japan Industrial Standard
JSCE	: Japan Society of Civil Engineers
KYB	: Kendiliğinden Yerleşen Beton
ÖYFC	: Öğütülmüş Yüksek Fırın Cürufu
PÇ	: Portland Çimentosu
SA	: Süper Akışkanlaştırıcı Kimyasal Katkı
TS	: Türk Standardı
TSE	: Türk Standardları Enstitüsü
UK	: Uçucu Kül
YFC	: Yüksek Fırın Cürufu

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Beton buluşundan buyana günden güne popülerlik kazanmaktadır. Beton seçimi, yapı sektöründe çok yönlülük ve yapım kolaylığı özellikleri nedeniyle malzemenin tercihini arttırmaktadır.

1.1 Beton

Beton; çimento, agrega, su vb. bileşenlerin karıştırılmasıyla hazırlanır. Beton, parçacıklar arasındaki boşlukları dolduran ve bunları birbirine bağlayan çimento ile agregalar gibi malzemelerden oluşan kompozit bir malzemedir.

Betonun başarılı bir yapısal malzeme olarak kabul edilmesinin temel sebebi, dayanım, çevresel etkilere, yangına suya dayanıklı olması gibi istenen özelliklere sahip olmasıdır.

1.1.1 Betonların Sınıflandırılması

Betonlar birim ağırlıklarına göre üç ana gruba ayrılırlar. Taşıyıcı olarak en çok kullanılan betonlar normal betonlar olarak isimlendirilirler ve birim ağırlıkları yaklaşık 2400 kg/m^3 değerindedir. Birim ağırlıkları 2000 kg/m^3 'ten az olan betonlar ise hafif betonlar olarak adlandırılmaktadır. Yalıtım amaçlı olarak veya dayanım-ağırlık oranının yüksek olması gereken koşullarda kullanılırlar. Radyasyon kalkanı olarak kullanılacak betonlarda bazı özel agregalar kullanılarak ağırlık artırılır. Birim ağırlığı 2600 kg/m^3 'ten yüksek olan bu betonlar ağır beton olarak tanımlanır (Özkul vd., 2004).

Birçok ülkede birbirinden farklılıklar gösteren sınıflandırmalar yapılmasına karşın, betonlar basınç dayanımlarına göre de aşağıdaki gibi gruplandırılabilir.

1. Mukavemeti 20 MPa'nın altında olan düşük dayanımlı betonlar
2. Mukavemeti 20-50 MPa'nın arasında olan normal dayanımlı betonlar

3. Mukavemeti 50 MPa'dan fazla olan yüksek dayanımlı betonlar olarak isimlendirilir (TS EN 206 – 1).

Betonlar kıvamlarına göre ise Tablo 1.1'deki gibi sınıflarına ayrılırlar.

Tablo 1.1: Kıvam sınıfları (TS EN 206-1).

Kıvam Sınıfı	Çökme Değeri (mm)
S1	10 - 40
S2	50 - 90
S3	100 - 150
S4	160 - 220
S5	≥ 220

1.1.2 Betonun Dayanımı

Betonun dayanımı, betonun taşıyabileceği en büyük gerilme olarak tanımlanır. Beton dayanımından söz edildiğinde bu dayanım basınç dayanımıdır. Betonun basınç dayanımı, “eksensel basınç yükü etkisi altındaki betonun kırılmamak için gösterebileceği direnme kabiliyeti” olarak tanımlanmaktadır (TS EN 206-1). Basınç dayanımı 15 veya 20 cm boyutlarındaki standart küp örnekler veya ϕ 15×30 cm olan standart silindir örnekler kullanılarak saptanır. Tablo 1.2'de normal betonlar için TS EN 206-1'e göre beton dayanım sınıfları verilmiştir (Durgun, 2011).

Basınç dayanımının bilinmesi, betonun diğer özellikleri hakkında kalitatif bilgi sağlamaktadır. Basınç dayanımının yüksek olması, betondaki dayanıklılığın yüksek olduğunu göstermektedir (TS EN 206-1).

Tablo 1.2: Beton basınç dayanım sınıfları (TS EN 206-1).

Basınç Dayanım Sınıfları	F_{ck} , Silindir (MPa)	F_{ck} , Küp (MPa)
C14	14	16
C16	16	20
C18	18	22
C20	20	25
C25	25	30
C30	30	37
C35	35	45
C40	40	50
C45	45	55
C50	50	60
C55	55	67
C60	60	75
C70	70	85
C80	80	95
C90	90	105
C100	100	115

1.1.3 Betonda Durabilite

Yapı malzemelerinin, yapı elemanlarının ve yapıların işlevlerini uzun yıllar bozulmadan yerine getirebilmelerine dayanıklılık (durabilite) adı verilir. Günümüzde farklı yapılarda farklı amaçlara hizmet için kullanılan beton, hizmet ömrü boyunca, bünyesinde yıpranmaya yol açabilecek birçok etkenle karşı karşıya kalmaktadır. Betonun içerisine sızan su, karbondioksit, oksijen, sülfat, asit ve klor gibi maddeler, betonda değişik türlerdeki kimyasal olayların oluşmasına neden olmaktadır. Betonun içerisindeki alkalilerle reaktif agregalar arasında gelişen ve sertleşmiş betonun genişerek yıpranmasına yol açan reaksiyonlar da kimyasal olaylar sonucunda yer almaktadır. Donma-çözünme, ısınma soğuma gibi olaylar betonun bozulmasına yol açacak nitelikteki fiziksel olaylardır (Öner ve Yıldız, 2003).

Betonun, hizmet verdiği sürece karşılaştığı kimyasal ve fiziksel etkiler karşısında yeterli direnci gösterebilmesi, yani yeterince dayanıklı olması en az betonun basınç dayanımı kadar önemlidir (Öner ve Yıldız, 2003).

1.1.4 Betonda Geçirimsizlik

Betonda durabilite ve geçirimsizlik birbiriyle ilişkili olan iki olaydır. Betonun akışkan geçirimsizliği; basınçlı su geçirimsizliği, kılcal yolla su emme ve buhar geçirimsizliğinden oluşur. Geçirimsizlik için gerekli önlemlerin alınmaması durumunda betonlarda bu üç geçirimsizlik aynı yönde ve olumsuz biçimde yüksek değerlere ulaşır ve bu da durabilite bakımından sorunlara yol açmaktadır. Geçirimsizlikte ki en büyük etkenler boşluklar ve çatlaklardır (Erdoğan, 1993).

1.1.5 Betonun Aşınması

Beton yüzeyinde sürtünme ve çarpma yaratarak, yüzeyin erozyonuna neden olacak etkenler karşısında betonun gösterebileceği direnme kabiliyeti "aşınma dayanıklılığı" olarak adlandırılmaktadır (Nergis, 2007).

Aşınmaya karşı dayanıklı bir beton elde edebilmek için bazı mineral katkıların betona karıştırılması gerekmektedir. Bu amaçla metal agregaların ve çelik tozunun kullanılması iyi sonuçlar vermektedir. Bunlardan başka özel fırınlarda silis ile karbonun birleştirilmesinden meydana gelen Karborundum'un harç ve betona karıştırılmasıyla pratik bakımdan aşınmayan betonlar elde edilmektedir (Postacıoğlu, 1984).

1.2 Kendiliğinden Yerleşen Beton

Kendiliğinden yerleşen beton (KYB) yüksek işlenebilirliği sayesinde kendi ağırlığı ile istenilen yere yerleşebilen, yerleşim sırasında ve sonrasında terleme ve segregasyon gibi problemlere neden olmayan betondur (Okamura,1997).

KYB, kimyasal katkı kullanılarak yüksek akıcı kıvamda üretilen betondur. KYB'de işlem sürecinde ayrışma ve su kasma olayları görülmemelidir. Karışımda kullanılan katkı ile düşük su/çimento (s/ç) oranında hem yüksek dayanıma hem de üstün durabiliteye sahip

olması nedeniyle KYB'ler yüksek performanslı betonlar sınıfına girmektedir (Özkul, 2002; Sağlam vd., 2005).

Uluslararası Prefabrike Beton Üreticileri Birliği (BIBM), Avrupa Çimento Birliği (CEMBUREU), Avrupa Hazır Beton Birliği (ERMCO), Avrupa Beton Katkı Üreticileri Federasyonu (EFCA) ve Özel Yapı Kimyasalları ve Beton Sistemleri Avrupa Federasyonu (EFNARC) birleşerek ortak bir şartname hazırlamışlardır (EFNARC, 2005). Tablo 1.3'e bakıldığında bu şartnamelerde tavsiye edilen sınırlar görülmektedir.

Tablo 1.3: KYB kabul kriterleri (EFNARC, 2002; EFNARC, 2005).

Ölçülen özellik	Deney metodu	Sınır Değerler
Viskozite	V hunisi akış süresi (s)	≤ 8 ≤ 25
Akışkanlık	Slump yayılma (mm)	550-650 660-750 760-850
Geçiş yeteneği	L kutusu deneyi (mm/mm)	≥ 0.8
Ayrışma direnci	V hunisi 5 dk gecikmeli akış süresi (s)	0-3 s
Ayrışma direnci	Elek testi (%)	≤ 20

KYB, 1986 yılında Hajime Okamura tarafından Tokyo Üniversitesinde ortaya atılmıştır. Japonya'dan gelen fikir, Akashi Kaikyo Köprüsü'nün 1980'lerin sonlarında ilk uygulamalarından bu yana malzeme bilgisi yayılmıştır (Atahan vd., 2003). KYB'nin gelişimi iki döneme ayrılabilir: Japonya'daki ilk gelişimi 1980'lerin ortalarında ve daha sonra 1990'ların sonlarında Avrupa'ya yayılmıştır. Japonya'da, KYB'nin ilk pratik prototipi 1988 yılında üretilmiştir ve ilk araştırma KYB için gerekli ilkeleri inceleyen yayınlar 1989-1991 yılları arasında olmuştur. Bu gelişmelerden sonra, Japonya yoğun araştırmalara başlamıştır. Japonya'nın KYB ile ilgili başarılı sonuçları birçok Avrupa ülkesinin dikkatini çekmiştir. Avrupa'da KYB'nin gelişmesine başlayacak ilk ülke İsveç'tir. Sonrasında 1990'ların sonunda diğer İskandinav ülkelerine yayılmıştır (Rols vd., 1999).

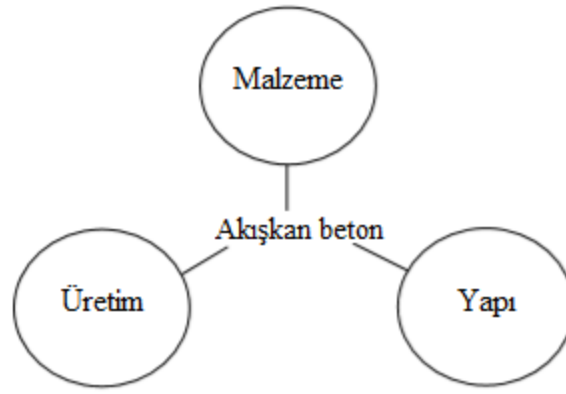
Okamura araştırması 1986'da başladıktan sonra, Japonya'daki diğer araştırmacılar harekete geçmiştir. KYB'yi araştırmaya ve özelliklerini geliştirmeye başlamıştır.

Bunlardan biri Okamura'dan bağımsız olarak araştırma yapan Ozawa idi. 1988'de ilk defa KYB geliştirmeyi başarmıştır. Bundan bir yıl sonra, yeni tipteki bu beton üzerinde açık bir deney yapıldı. Tokyo da araştırmacı ve mühendislerin önünde sunuldu. Yoğun araştırmalar özellikle büyük inşaat şirketlerinin, araştırma enstitülerinin ve Tokyo Üniversitesi'nin ilgisini çekmiştir.

KYB üretiminde kullanılan etkili akışkanlaştırıcılar daha homojen bir çimento dağılımı sağlamakta ve ilave tozların da desteğiyle harç fazının ayrışmasına yol açmadan akışkanlığı sağlamaktadır. Tüm bu farklılıklar, KYB'yi dayanım ve dayanıklılık açısından geleneksel betona kıyasla üstün hale getirmektedir (Audebaert, 2002). KYB her ne kadar doldurma kapasitesi yüksek bir beton olsa da, pratikte tam sıkışmanın sağlanması mümkün olmamaktadır. Bu yüzden KYB'nin de hacminde geleneksel beton gibi bir miktar hava bulunmaktadır.

Geleneksel beton ile yapılar yapabilmek için kalifiye işçiler tarafından etkin sıkıştırılmaya ihtiyaç duyulmaktadır. Geleneksel betonun gelişimiyle birlikte, inşaat sektöründeki işçi sayısındaki azalmalar ve farklı çalışma yöntemlerinde ki azalmalar KYB ile sağlanabilmektedir. KYB, uygulaması daha homojen daha iyi bir görünüm sağlayan, daha düşük mukavemet değişimi olan ve daha dayanıklı bir betondur (Wallevik ve Nielsson, 1999).

Sadece karışım bileşiminin değil, aynı zamanda üretim sürecinin de en iyi duruma getirilmesi, yapısal performansı hedefleyen karışım tasarımı uygulamasını sağlamaktadır. Akışkan beton (Şekil 1.1), malzeme kompozisyonunun, ayarlanan üretim süreci ve yapının tipi ve şekli ile birlikte hedeflenen taze ve sertleştirilmiş duru özelliklerinin elde edilmesi için malzeme bileşiminin optimize edilmesini kapsar (Grünwald vd., 2010).



Şekil 1.1: Akışkan betonun sonucu olarak yapısal performans: malzeme davranışı, üretim etkileri ve yapısal sınırlar.

1.2.1 Kendiliğinden Yerleşen Betonun Mühendislik Özellikleri

Mühendisler yapı tasarım üzerinde, belli zamanlarda şartnamelerde doğrudan olmayan özelliklere değinmeleri gerekebilirler. Beton özellikleri başlıcaları şunlardır:

1. Basınç dayanımı
2. Çekme dayanımı
3. Sünme
4. Büzülme
5. Dayanıklılık (EFNARC, 2002).

1.2.1.1 Basınç Dayanımı

S/Ç oranı ile basınç dayanımı gibi betonun kompozisyonu ile özellikleri arasındaki ilişki KYB içinde geleneksel betonunkiyle aynıdır. Normal oranlarda oluşturulan bir KYB yüksek miktarda ince dane/katkı içermektedir. Bu daneler sertleşmiş betonun mikro yapısını yoğunlaştırır (Schutter vd., 2008).

1.2.1.2 Çekme ve Akma Dayanımı

KYB'nin çekme dayanımına dair kullanılabilen bütün veriler dolaylı çekme dayanımı olarak ifade edilir. Bu veriler genelde yarma ya da eğilme deneyinden elde edilir. KYB ve geleneksel beton arasındaki karşılaştırmalar dolaylı çekme dayanımının basınç dayanımına

oranı üzerinedir. KYB'nin basınç dayanımı geleneksel betonunkiyle aynı veya daha üstündür (Kaya, 2010).

1.2.1.3 Sünme

Beton sabit bir yük altında bırakılırsa, yüklenir yüklenmez ani bir deformasyon yapar; yük yeterli bir süre beton üzerinde kaldığında şekil değiştirmenin arttığı görülür. Sabit yük altında şekil değiştirmenin artması olayına sünme adı verilmektedir. Sünme belirlenirken uygulanan gerilmeyle bağlantılı olmayan büzülme, şişme ve termal deformasyonlar gibi diğer zamana bağlı deformasyonlar da göz önüne alınır.

1.2.1.4 Büzülme

Cürufu çimentolarla üretilmiş betonların büzülme (rötre) konusunda ki araştırma sonuçlarının birbirlerinden, deney şartları ve kullanılan malzemelerin değişik olması, birbirinde farklılıklar gösterebilmektedir. Bu farkların oluşması çok önemli ölçüde değildir.

1.2.1.5 Dayanıklılık

Beton ve/veya betonarme yapının zaman içinde özelliklerini kaybetmemesine dayanıklılık (durabilite) denir. Zaman içinde dış faktörlerden ve betonun bileşenlerinden ileri gelen faktörlerden etkilenmeyerek dayanımını ve diğer özelliklerini koruyabilmesine denilmektedir.

1.2.2 Kendiliğinden Yerleşen Betonun Kullanım Alanları

KYB'ler oldukça geniş bir kullanım alanına sahiptir. Başlıcaları; beton prefabrik sektörü, hazır beton, betonarme yüksek yapılar, güçlendirme projeleri, vibratör kullanımının olanaksız olduğu yerler ve gürültüsünün istenmediği durumlar kullanılmaktadır. Köprü ve viyadüklerin depreme karşı güçlendirilmesinde KYB kullanımı teknik, ekonomi, işçilik hataları en az olması için ve çalışma performansı açısından çok avantajlı bir çözüm yolu olarak görülmektedir (Anon., 2006).

KYB tercih edilmesinde farklı yapılarda meydana gelen şekil değişikliklerin geleneksel beton kullanımının gerçekleştirilemeyeceği olmasıdır. Ulaşımı zor olan yerlerde geleneksel beton ile bakım ve onarım yapımının gerçekleştirilemeyeceği güçtür. Bu durumda KYB kullanımı tercih edilmesi gerekmektedir (Özkul, 2002).

1.2.2.1 Kendiliğinden Yerleşen Betonun Avantajları

Geleneksel beton kullanımı yerine KYB'nin kullanılması birçok avantaj sağlanmaktadır (Felekoğlu, 2004):

1. KYB ile taze betonu sıkıştırılmasına gerek duyulmadığından vibratör kullanımının oluşturduğu zaman ve maddi kaybı da ortadan kalkması söz konudur. Aynı zamanda gürültü kirliliğinin de önüne geçilmiş olunmaktadır.
2. KYB betonu engellerin içinden ve çevresinden geçerek titreşim ihtiyacını da ortadan kaldırmış olmaktadır.
3. KYB betonunun sık donatılı yerlerden boşluksuz yerleşmesi KYB'nin mekanik performansını artıracaktır. Özellikle deprem riski olan bölgelerde perde tipi kolon kullanımının yoğun olması ve bu elemanların sık donatılı olmaları vibratör kullanımını zorlaştırmaktadır.
4. Yeni nesil kimyasal katkıların kullanımıyla çok akıcı olması yanında düşük s/ç oranına sahip yüksek mukavemetli beton üretilerek beton kalitesi hem dayanım hem de dayanıklılık açısından artırılmaktadır.
5. KYB üretiminde katkıların kullanılması prefabrike kalıpları erken sökmek için kış aylarında yapılan buharlı küre gerek duyulmamaktadır. Bu tür KYB'lerin erken dayanımı yüksek olacağından kalıp alma hızları artmakta, dolayısıyla inşaat hızında artışlar meydana gelmektedir.
6. KYB pompalanabilirlik açısından geleneksel betona göre daha avantajlıdır. Bu durum taze KYB'nin tiksotropik yapısından kaynaklanmaktadır.

1.2.2.2 Kendiliğinden Yerleşen Betonun Dezavantajları

KYB'nin avantajları olmasına rağmen bazı olumsuz yönleri de bulunmaktadır. Bunlar aşağıda sıralanmıştır (Felekoğlu, 2004):

1. Ekonomik kısımdan incelendiğinde KYB, normal betona göre daha pahalıdır. KYB maliyetini arttıran sebep kullanılan kimyasal katkılarıdır. Günümüzde ve gelecekte bu katkıların maliyetlerinin düşmesi için çalışmalar yapılmaktadır.
2. KYB’de seçilen malzeme ve oran değişikliklerinden etkilenmektedir. Başlıca değişim agreganın gradasyonu ile ilgilidir. Geleneksel betona kıyasla fazla kontrol gerekmektedir. Bu da üreticiyi ekstra tedbirler almasını gerektirecektir.
3. KYB’nin en az 7 gün kür edilmesi tavsiye edilmektedir. Kür edilmemesi halinde sıcak havalarda plastik büzülme çatlakları meydana gelebilir.
4. Özellikle prefabrike beton üretiminde taze betonun taşınması için geleneksel betonda kullanılan bazı sistemlerin değiştirilmesi veya modifiye edilmesi gerekmektedir.
5. Geleneksel beton üretiminde ahşap kalıp sıklıkla kullanılmaktadır. KYB kullanımında ahşap kalıpların çakılması sırasında iki lata arasında boşluk bırakılması durumunda hamur sızması olabilir bu nedenle kalıp işçiliğine özen gösterilmelidir. Ayrıca merdivenlerde kalıp sistemi nedeniyle KYB kullanılmamaktadır.

1.2.3 Kendiliğinden Yerleşen Beton Bileşenleri

KYB, geleneksel betonun tüm bileşenlerinden üretilebilir ve daha geniş performans özellikleri gösterebilir.

1.2.3.1 Çimento

Portland çimentosu (PÇ) kalsiyum, alüminyum, silikon, demir ve küçük miktarda diğer malzemelerin sıkı kontrollü kimyasal karışımıdır (Özışık, 1998).

PÇ betonu, inşaatla kullanılan malzemelerin başında gelmektedir. Dünya çapında mühendislik projeleri, en çok tercih edilme nedenleri çeşitlidir ancak daha önemlisi, bileşenlerinin ekonomik ve yaygın kullanılabilirliği, çok yönlülüğü ve kullanıldığı birçok inşaat türü ile kanıtlandığı gibi uyumluluk ve servis sırasında minimum bakım gereksinimleri gelmektedir (Özkul vd., 1999).

Hazır beton teknolojisinde, üretmekte olduğumuz çimentolarla elde edebileceğimiz betonlar için yaklaşık bir üst sınır olmasına rağmen kimyasal ve mineral katkı kullanımının amaca yönelik en kolay ve geçerli yöntem olduğu deneyler ve sonuçlarıyla desteklenmiştir (Sari, 1999).

1.2.3.2 Agregat

Agregat, beton yapımında çimento ve su karışımından oluşan bağlayıcı madde yardımı ile bir araya getirilen, organik olmayan, kum, çakıl, kırmataş gibi doğal kaynaklı veya yüksek fırın cürufu (YFC), genleştirilmiş perlit, genleştirilmiş kil gibi yapay kaynaklı olan taneli malzemelerdir (Su vd., 2001).

KYB'nin akışkan olması gerektiği için ve yoğun donatı arasından geçebilmesi gerekmektedir. Bunun için tane boyutu 16 mm olduğu çalışmalarda uygunluğu görülmektedir (Uygunoğlu, 2008).

Agregalar ayrıca, silt, kil, kir veya organik madde gibi yabancı maddeler içermemelidir. Eğer bu malzemeler agregat yüzeyleri, agregat parçacıklarını çevreleyen betondan ayırırlar, mukavemet azalmasına neden olur.

Agregalar betona dayanım ve dayanıklılık sağlamakla kalmaz, betonun fiziksel ve mekanik özelliklerini de etkilerler. Agregalar dolgu maddesi olarak işlev görür ve betonun büyük ölçüdeki maliyetini düşürmektedir. Agregalar sert, güçlü, istenmeyen safsızlıklardan arındırılmış ve kimyasal olarak kararlı olmalıdırlar. Çimentoya veya betona dâhil olan herhangi bir malzemeye müdahale etmemelidirler. Betonun işlenebilirliği, sağlamlığı, dayanıklılığı ve nem duyarlılığı, agregat özelliklerinden büyük ölçüde etkilenir. Agregaların büyüklüğü ve dereceleri, belirli bir proje için bir karışımın tasarımında önemli parametrelerdir çünkü taze betonun işlenebilirliğini ve sertleşmiş mukavemetini etkileyebilirler.

İri Agregat

Sınırlı iri agregat içeriği agregat tanelerinin çarpışmasını azaltmakta, geçiş yeteneği sağlamak ve geri kalan çimento hamuru fazı hacmini arttırmaktadır (Gündeşli, 2008).

KYB’de genellikle büyük agrega çapının kullanılmasına rağmen 12–20 mm’de sınırlandırılmalıdır (ėimėek, 2007).

İnce Agrega

Kendiliğinden yerleşen betonlar da geleneksel betonlara kıyasla daha fazla miktarda ince agrega kullanımı ile birlikte iri agrega kullanımının da daha az olması geçiş yeteneğini arttırır (Dowson, 2002).

İnce agreganın KYB özellikleri iri agreganınkinden daha fazladır. 0,125 mm’den daha az olan parçalar ve su emme oranı hesaplamalarda dikkate alınmalıdır (ėimėek, 2007).

1.2.3.3 Beton Karma Suyu

Betonda kullanılan karma suyu, imento ile birleşerek hidratasyonun oluşmasını sağlamak ve betonun karılma işleminde imento ve agrega yüzeyini ıslatarak işlenebilmeyi sağlamaktadır.

1.2.3.4 Katkılar

Taze ve sertleşmiş betonun özelliklerini hedeflenen doğrultuda iyileştirmek, performansı geliştirmek ve kontrol edilebilir hale getirmek katkıları sayesinde olabilmektedir. Beton katkı maddeleri, kimyasal katkıları, mineral katkıları olarak iki ana başlıkta incelenebilir. Katkı maddelerini kullanmak bir anlamda kalitenin maliyet değerini aşığı çekmektedir.

Kimyasal Katkılar

Kimyasal katkıları, betonun akışkanlığı arttırılması, erken ve yüksek dayanım, geçirimsizlik yanında priz süresinin değiştirmek gibi amaçlarla kullanılmaktadır (Topçu, 1996).

Karışım suyu içerisine çok az miktarda kimyasal katkı maddesi katılarak kullanılmaktadır. Kimyasal katkının beton da kullanılması, imento ağırlığının %5’inden fazla olmaması gerekmektedir (TS EN 934-2, 2002).

Mineral Katkılar

Beton üretiminde katkı maddesi olarak doğal puzolanlar, silis dumanı (SD), uçucu kül (UK) ve granüle edilmiş YFC gibi inert malzemelerin KYB üretiminde kullanılmasıyla, üretim için gereken çimento miktarı azaltılabileceğini, aynı zamanda işlenebilirlik ve dayanıklılık özellikleri geliştirilerek, daha ekolojik ve ekonomik tasarımlar elde edilebileceğini belirtilmiştir (Gödek, 2015).

Mineral katkıları, doğal ve yapay katkılar olarak ikiye ayırmak mümkündür.

Doğal mineral katkılar çimento ve beton içerisinde kullanılmaktadır. Katkılar volkanik kül, tras ve zeolit gibi bazıları puzolanik aktiflik göstermelerine karşın, kimyasal ve mineral bileşimleri, oluşum kaynakları ve şartlarına bağlı olarak çeşitlilik gösterir. Mineral katkılar baskın olarak silika, alüminyum ve ferrik oksit bileşenlerinden oluşmaktadırlar (Vu, 2002).

Yapay puzolan grubunda YFC, UK, SD puzolanları bulunmaktadır. Çeşitli sanayi atıkları olan bu malzemeler beton gelişimine ve çevreye etkisi yapı malzemesi olarak çok olumlu etkindir. Puzolanik kullanılan betonlar, bütünü PÇ ile yapılmış betona kıyasla daha ekonomiktir.

Çimento ve beton içerisine katılan mineral katıların doğal kaynaklarındaki hızlı tükenmeden dolayı günümüzde yapay mineral katkılar kullanılmaktadır. Şehirleşmelerin ilerlemesi ile beraber yüksek puzolanik aktiflik gösteren yapay mineral katkılar geliştirilmiştir (Vu, 2002).

1.3 Taze Beton

Taze beton, çimento, su ve agrega ilk karıştırıldığında kolayca şekil verilebilen bir malzemedir. Taze halde olan hamur agregalar arasındaki sürtünmeyi azaltarak işlenebilirliği arttırmaktadır.

Taze betonun taşınması gereken başlıca özellikler şunlardır:

1. Karışımlarla oluşturulan taze beton kolay şekilde karışmalıdır.

2. Karışım, yerleştirilecek kalıba doldurmaya yetecek kadar işlenebilir olmalıdır. Aynı zamanda homojenliğin de değişme olmadan taşınabilir ve yerleşebilir olmalıdır.
3. Karışım aşırı miktarda enerji gerektirmeden sıkıştırılabilir.
4. Karışım kalıp karmaşık şeklinde olması durumunda bile doldurulabilir ve taze halde iken yüzey düzeltme gerektirmemelidir (Bartos, 1992).

1.3.1 Taze KYB'nin Özellikleri

KYB'lerin performansları ile taze beton özellikleri arasında önemli bir ilişki vardır. Reoloji ve işlenebilirlik parametreleri KYB'nin pratikteki kullanım performansını etkilemektedir. Kendiliğinden yerleşme yeteneği üç parametre ile karakterize edilebilir: doldurma yeteneği, ayrışmaya karşı direnç ve geçiş yeteneğidir (Skarendahl ve Petersson, 2000).

1.3.1.1 Doldurma Yeteneği

Taze karışımın kendi ağırlığı altında akmasını ve kalıbı tamamen doldurmasını sağlar. Doldurma kabiliyetine ulaşabilmesi için, KYB'nin kaba agrega ve ince agrega arasındaki sürtünme azaltılmalıdır. Bu da daha fazla miktarda su veya kimyasal katkı ekleyerek elde edilir. Süper akışkanlaştırıcı kullanımı, su ilave edilmesinden farklı olarak, çimento parçacıkları arasındaki sürtünmesini azaltır ve KYB karışımının deforme olabilirliğini ve homojenliğini korur.

KYB'de iyi bir doldurma kabiliyeti elde etmek için, agrega yüzeyi taze beton ile kaplanacak yeterli macun sağlanmalı ve agrega çevresinde fazla macunun en aza indirgenmesi gerekmektedir.

1.3.1.2 Geçme Yeteneği

Geçme kabiliyeti, KYB karışımının güçlendirilmiş yapılardan, boşluklardan, dar kısımlardan ve yoğun donatıların arasından ne durumda akabilirliği ile tanımlanmaktadır.

Geçme yeteneği farklı parametrelerle ilgilidir. İri agrega içeriğinin sınırlandırılması enerji tüketimi yükseltir, geçiş kabiliyetini artırır ve dar aralıklarda tıkanma riskini azaltabilir.

Agregalar arası parçacıklar ve çevreleyen hamur arasındaki etkileşim dar alana yaklaştığında farklı hızlarda sıkışmaya ya da tıkanmaya yol açma riskini belirlemek için önlem gerekmektedir.

1.3.1.3 Ayrışmaya Karşı Direnç

Ayrılma direnci, beton akarken dinamik ayrışma direnci veya beton dinlendiğinde statik ayrışma direnci olarak tanımlanabilir. Dinamik ayrılma direncinin, artan akma gerilmesi ve plastik viskozitesi, azalan maksimum agregaya boyutu, geliştirilmiş agregaya derecelendirme ve macun ile agregaya arasındaki yoğunlukta ki farkın azalmasıyla arttığı gözlenmiştir (Shen vd., 2009).

Ayrılma direnci, betonun agregayı, beton yerleşene kadar eşit bir şekilde dağılması ve yerleşmiş halde tutma kabiliyetidir. İri agreganın boyutu ve içeriğinin sınırlandırılması ayrılmanın önlenmesinde etkilidir.

Taze beton özellikleri bir dereceye kadar ilişkili ve birbirine bağlı olduğu söylenebilir. Bu üç temel şartın bir özellikteki değişiklik, diğerinde de bir veya ikisinde bir değişikliğe yol açacaktır. KYB bu parametreler arasında bir denge vardır.

1.4 Reoloji

Reoloji, malzemenin deformasyon ve akış özelliklerini inceleyen bilim dalıdır (Hackley ve Erraris, 2001). İster katı ister sıvı olsun her malzeme gerilme altında şekil değiştirir. Reoloji bilimi ana konusu akışkanlar; Newtonyen (Newtonian) ve Newtonyen olmayan (non-Newtonian) akışkanları incelemektedir. Newtonyen akışkanlara hava, su, süt örnek olarak verilebilir. Newtonyen olmayan akışkanlara yumurta akı, bal, boya, tutkal vb. örnek verilebilir (Postacıoğlu, 1981; Bartos, 1992).

Taze harcın ve betonun reolojik sabitleri; kayma eşiği (τ_0) ve plastik viskozite (η_{pl}) akış bilimi olarak tanımlayabileceğimiz reoloji bilimi ile açıklanır. Bu incelemeyi kolaylaştıran yapısal modeller mevcuttur. Plastik viskozite (η_{pl}), akıcılığın tersidir, yani plastik viskozite (η_{pl}) değeri küçük olan bir beton akıcı olacak ve daha kolay yerleştirilebilecektir (Banfill, 1991; Tattersall, 1991; Bartos, 1992). Kayma eşiği (τ_0), bir maddeye uygulanan akmanın

başlaması için gereken kayma gerilimidir. Kayma gerilimi, kayma eşiğinden büyük olduğu zaman madde akmaya başlar ve akmaya karşı olan direnç plastik viskoziteye bağlıdır. Reolojik çalışmalar kayma gerilmesi ile kayma hızı arasındaki ilişkiye dayanmaktadır. Elde edilen bu ilişkiden de kayma eşiği ve plastik viskozite bulunmaktadır (Erzengin, 2015).

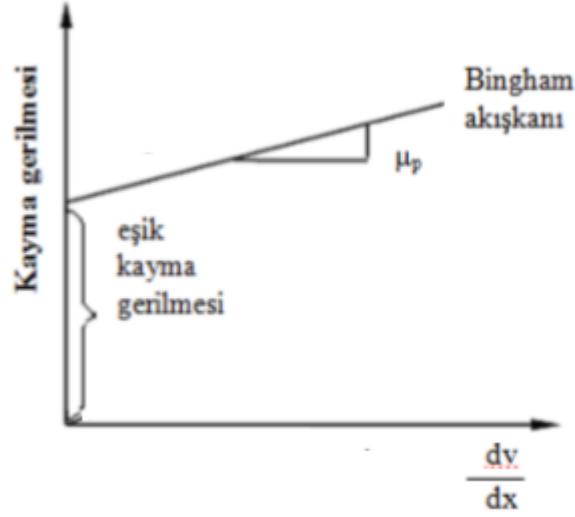
Statik ayrışma direnci, ayrı bir agrega parçacığına etki eden aşağı doğru yerçekimi kuvveti, yukarı doğru kaldırma kuvveti ve macunun reolojisi ile dengelendiğinde elde edilir (Saak vd., 2001; Shen vd., 2009; Koehler vd., 2009).

Eşik kayma gerilmesini etkileyen en önemli faktörlerden birisi, agregalar arasında oluşan iç sürtünmedir (Uygunoğlu vd., 2017). Köşeli iri agregadan oluşan betonun plastik viskozitesi daha yüksektir. Plastik viskozitedeki artış için hesaplanan pastadaki akış direnci ve yüksek gerilme sonucunda kayma hızı da artar (Banfill, 2003).

Reolojinin çalışma alanına bakıldığında çok geniştir. KYB'nin reolojisi taze haldeki davranışıyla ilgilenir. Taze betonun akma ve deformasyon uygulanan kayma gerilmesinin büyüklüğüne bağlıdır (Schutter vd., 2008).

Çimento tabanlı malzemelerin akışında birçok etken söz konusu olabilmektedir. Mukavemetlerinin gelişmesi ve sertleşmeleri sürecinde kendi ağırlığı altında akmaksızın durabilirler. Sertleşme olmadan ölçümlerin tamamlanması gerekmektedir. Çimento tabanlı sistemlerin uzun süre içerisinde ölçüm yapılması uygun değildir. Katıya benzer davranış gösteren malzemeleri açıklayan en basit analiz Bingham modelidir (Banfill, 2003).

Reolojik özellikler s/ç oranı, çimento tipi, karıştırmadan sonra geçen süre ve sıcaklığa bağlı olarak değişkenlik gösterebilir. Bingham modeli viskoplastik davranışı temsil eden bir model olarak öngörülebilir. Çimento hamuru, harç ve beton, viskoplastik davranış gösteren akışkanlardır (Çankayalı vd., 2009). Viskoplastik akış tipinde akışkan akmaya başlamadan veya deforme olmadan önce gerekli bir başlangıç akma gerilimi varlığıyla ifade edilir (Yeğiner, 2014).



Şekil 1.2: Kayma gerilmesi-deformasyon oranı.

Kendiliğinden yerleşebilirlik için eşik kayma gerilmesinin olabildiğince sıfıra yakın olması amaçlanmalıdır (Şekil 1.2). Taze harcın çökmede-yayılma deneyinde, harcın yayılmasının durduğu anda kayma gerilmeleri ile akma gerilmeleri eşit olduğu kabul edilir. Akma gerilmesinin veya eşik kayma gerilmesinin yüksek olması taze harcın akabilme yeteneğinin düşük olduğunu gösterirken; akma gerilmeleri azaldıkça harcın akma yeteneği artmaktadır (Topçu ve Uygunoğlu, 2008).

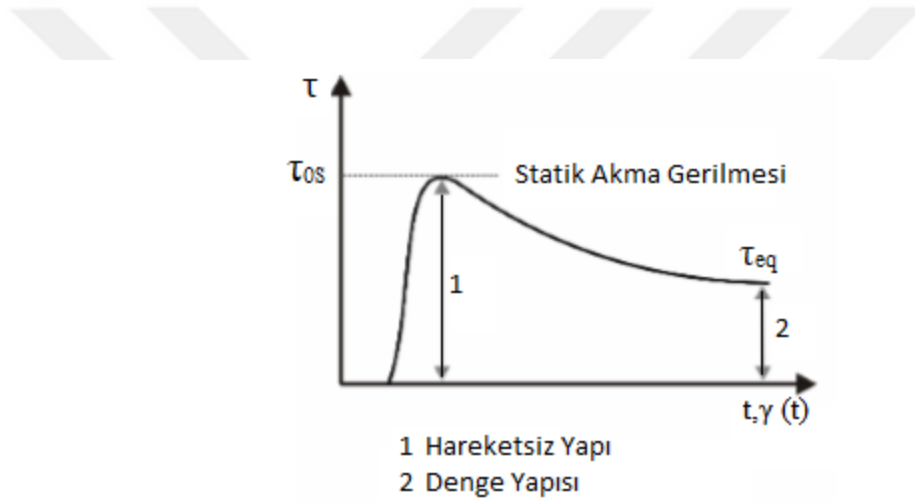
Bingham modele göre de sıvının veya süspansiyonun akışa geçebilmesi için belirli bir gerilmeyi aşması gereklidir. Bu modelde akış eğrisi bir gerilim ekseninde kesişme, başlamak için gerekli olan minimum gerginliği gösterir. Bir kez beton akmaya başlar, kayma gerilmesi, tanımlandığı gibi gerilme oranındaki artışla doğrusal olarak artar ve bu plastik viskozite ile ifade edilir (Lowke, 2010). Bu nedenle reolojik özellikleri tam olarak tanımlamak için betonarme betonunun Bingham modelinde iki parametre, yani plastik viskozite ve akma gerilmesi gereklidir (Ozawa vd., 1995).

Tiksotropik akış davranışı zamana bağlı kayma incelmeleri davranışını gösteren akışkanlarda görülmektedir. Tiksotropide gerilim ile viskoz özelliğin geri dönüşümlü bir biçimde azaldığı kaydedilmektedir (Barnes, 2000).

Çimentolu süspansiyonların akma gerilmesi, tiksotropi olarak bilinen bir davranış olan zamana göre değişir. Genel olarak, tiksotropi daha önce bozulmamış bir sıvı davranışdır.

Statik akma gerilmesi, bozulmamış mikro yapıyı harekete geçirmek için üstesinden gelinmesi gereken gerilim karakterize eder. Dinamik akma gerilmesi, bir akışkanın hareket halindeyken akışını sağlamak için gereken minimum kayma gerginliği veya kısa bir dinlenme süresinden sonra bir akışkanı harekete geçirmek için gereken kayma gerginliğini karakterize eder (Şekil 1.3).

Statik akma gerilmesi, dinamik akma gerilmesinden daha büyüktür çünkü bozulmamış yapının başlangıcında üstesinden gelinmesi gerekir. Dinamik akma durumunda bozulmamış yapının bir kısmı zaten tahrip olmuştur. Statik verim gerilmesinin büyüklüğü, kayma kaldırıldığından beri geçen süreye bağlıdır. Yapı, maksimum kayma gerilimi elde edilinceye kadar kademeli olarak yeniden düzenlenir (Roussel, 2006).



Şekil 1.3: Kayma gerilmesi τ çok düşük bir sabit kayma hızında ve statik akma gerilmesi τ_{0s} .

Taze betonun temel reolojik parametrelerinin ve özelliklerin hesaplanmasında kullanılan reolojik eşitlikler, bir takım kabullere dayanmaktadır.

1. Süreklilik; malzemenin herhangi iki noktası arasında hiçbir kesikliği olmamalıdır.
2. Homojen karışım; malzeme tümüyle homojen bileşimdedir.
3. İzotropik malzeme; malzemelerin bütün doğrultularındaki özellikleri aynıdır.

Uygulamada taze betonun bahsedilen bu üç kabulü aynı anda sağlaması muhtemel değildir. Bahsedilen kabullere uyma derecesi bir beton karışımından diğerine değişmektedir. Ayrıca betonun mikro ölçekte sürekli olması muhtemel değildir (Özel, 2007).

1.5 Sertleşmiş KYB Özellikleri

KYB'nin beklenen mekanik performansı bazı kriterlere bağlı olmaktadır. Üretim sırasında taze betonun istenilen düzeyde olması uygulanan deneylerle sürekli kontrol edilmesi gerekmektedir. Gerekli beton özelliği sağlanmadığı durumda karışıma müdahale yapılması gerekmektedir.

1.5.1 Basınç Dayanımı

KYB'de basınç dayanımı istenilen sınıfı sağlamak için önemli bir parametredir. Beton karışımında s/ç oranı uygun değerlerde olması istenen dayanımın üzerinde beton üretimine sebep olmaktadır.

1.5.2 Erken Dayanım Kazanma Hızı

Hiperakışkanlaştırıcılar, kendiliğinden yerleşebilirliği sağlamanın yanı sıra, su kesme işlevi de gördükleri için, ortamdaki su miktarını azaltarak erken dayanımı artırırlar (Saf, 2015).

Beton içerisinde taş tozu kullanımı, erken dayanım miktarını yükseltmektedir (Saf, 2015). YFC kullanımı halinde dayanım hızını yavaşlatır. Sentetik C-S-H kullanımı erken dayanım hızını arttırmaktadır (Alizadeh vd., 2009).

1.5.3 Boşluk Yapısı

KYB'nin boşluk yapısı, kimyasal katkı, reolojik özellikleri, döküm şeklinden, kalıp ve donatı miktarı önemli ölçüde etkilenir. Döküm hızının yüksek olması sıkışık hava boşluğu miktarını arttırdığı görülmüştür (Felekoğlu, 2003).

1.6 Karışım Tasarımı

Taze haldeki KYB karışımlarında, karışımdaki iri agreganın ince agregaya oranı; hamurun akışkanlık ve viskozitesi çimento ve mineral katkıların dikkatli seçimi ve oranlanmasına; hamur hacmi agregadaki boşluk hacminden büyük olmasına dikkat edilmelidir. Taze hal özelliklerinde meydana gelebilecek bir olumsuzluk KYB'nin mekanik ve durabilite özelliklerini de olumsuz etkilemektedir (Okamura ve Ozawa, 1995).

1.6.1 Beton Gereksinimleri

Kendiliğinden yerleşen betonun taşınması gereken taze beton özellikleri geçerli deneylerle elde edilen sınıflandırmalar ve bazı kullanım yerler şu şekildedir:

1. Doldurma yeteneği: Kullanılan en geçerli test çökme-akma testidir. Deney sonucu elde edilen deney sonuçlarına göre sınıflandırma yapıldığında şu uygulama alanları söylenebilir:
 - SF1 sınıfının uygun olduğu uygulamalar; konut döşemeleri, tünel kaplaması, kazıklar ve bazı derin temellerde kullanımı.
 - SF2 sınıfının olduğu uygulamalar; duvar ve kolon gibi normal uygulamalar için uygundur.
 - SF3 sınıfının olduğu uygulamalar; sık donatılı yapılarda, karmaşık şekillere sahip binalarda kullanılır.
2. Viskozite: Çökme-yayılma deneyi yapıldığında ölçülen T_{500} süresi ve V hunisi deneyinde ölçülen süre ile değerlendirilir. Deney sonucu elde edilen deney sonuçlarına göre sınıflandırma yapıldığında şu uygulama alanları söylenebilir:
 - VS1/VF1 çok yoğun donatıda bile iyi doldurma yeteneğine sahiptir. Ayrışma ve terleme problemi olması çok muhtemeldir.
 - VS2/VF2 üst sınıf limitine sahip değildir fakat artan akma zamanı ile kalıp basıncını sınıflandırmada ya da ayrışma direncini geliştirmede faydalı olabilen tiksotropik etkileri göstermesi çok muhtemeldir.
3. Geçme yeteneği: Yapılan karışım hesabında agrega boyutuna dikkat edilmesi gerekmektedir.
 - PL1 konut ve düşey yapılar gibi 80 ile 100 mm arasında açıklığa sahip yapılarda kullanılır.

-PL2 büyük ve karışık yapılar gibi 60 ile 80 mm arasında açıklığa sahip yapılarda kullanılır.

4. Ayırışma direnci: KYB'nin homojenliği için temeldir. Tablo 1.4'te sınıflandırılması gösterilmiştir.

-SR1 genellikle ince döşemeler için ve akma mesafesi 5 m'den daha az olan ve sargı aralığı 80 mm'den daha büyük olan düşey uygulamalar için uygundur.

-SR2 ayırışmaya dikkat etmek için düşey uygulamalarda akma mesafesi 5 m'den daha fazla ve sargı aralığı.

Tablo 1.4: KYB özelliklerinin sınıflandırılma değerleri ayırışma direnci.

Ayırışma direnci	
Sınıf	Elek ayırışma (%)
SR1	≤ 20
SR2	≤ 15

1.6.2 Karışım Tasarım Prensipleri

Karışım özelliklerinin gerekli kombinasyonunu elde etmek için:

1. Mineral katkı malzeme miktarı, çimento miktarı kabul edilebilir bir değerde olması dayanımı kontrol edilmiş olmaktadır.
2. Agregaya yüzeyini saran hamur tabakası tamamen kaplanabilmesi için hazırlanan hamur hacmi agregadaki boşluk hacminden fazla olması gerekmektedir.
3. Hazırlanan karışım oranları iyi ayarlanabilir olması gerekmektedir. Karışımın en uygun ayarlanabilmesi betonun akışkanlığını ve agregaya sürtünmesini azaltır.
4. Karışımında iri agregaya ile ince agregaya oranı değiştirilmektedir. İri agregayı saran hamur tabakası tarafından sarılması azaltılmış olur.

1.7 Uçucu Kül

UK üretimini; santral tipi, işletim biçimi, kömürün cinsi, yanma biçimi gibi çeşitli faktörlerden etkilenmekle birlikte genel olarak elektrik enerjisi üreten termik santrallerde kullanılan taşkömürünün %10-15'ini, linyit kömürünün ise %20-50'si kül olarak ortaya çıkmaktadır. Yanma sonu ortaya çıkan külün %75-85'i baca gazları ile kazandan çıkmaktadır. Bu atıklara uçucu kül denilmektedir. UK'ların tutulmasını elektrofiltreler ve siklon denilen toz tutucular sayesinde sağlanmaktadır (Morrison, 1970).

Termik santrallerin atık maddesi, toz linyit kömürün yanması ile meydana gelen ve baca gazlarıyla sürüklenen çok ince kül parçacıklarıdır (Gödek, 2015). UK yoğunluğu genel olarak 2,1 ve 2,7 g/cm³ arasında olmaktadır (Gündeşli, 2008).

UK'ların sınıflandırılmasında, kimyasal bileşen yüzdesine göre esas olarak ASTM C 618 ve TS EN 197-1 standartları baz alınmaktadır.

ASTM C 618 standardına göre UK, F ve C sınıflarına ayrılırlar. F sınıfı UK, bitümlü kömürden üretilen $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ yüzdesi %70'den fazla olan ve CaO yüzdesi %10'un altında olduğu için düşük kireçli UK olarak da adlandırılan küllerdir. Pozolanik özelliğe sahiptirler. C sınıfı UK 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 fazladır. $\text{CaO} > \%10$ olduğu için de yüksek kireçli UK olarak adlandırılırlar. C sınıfı UK, pozolanik özelliğin yanı sıra bağlayıcı özelliğe de sahiptirler (ASTM C 618, 2000).

TS EN 197-1'e göre sınıflandırmada ise UK silissi (V) ve kalkersi (W) olmak üzere iki gruba ayrılırlar. (V) sınıfı UK, çoğunluğu pozolanik özelliklere sahip küresel taneciklerden meydana gelen esas olarak reaktif SiO_2 ve Al_2O_3 oluşan; geri kalanı demir oksit ve diğer bileşenleri içeren küllerdir. Bu küllerde, reaktif CaO oranının %10'dan az, reaktif silis miktarının %25'den fazla olması gerekmektedir. (W) sınıfı UK ise, hidrolik ve/veya pozolanik özellikleri olan esas olarak reaktif CaO, reaktif SiO_2 ve Al_2O_3 'den oluşan; geri kalanı Fe_2O_3 ve diğer bileşenleri içeren küllerdir. Bu küllerde, reaktif CaO oranının %10'dan fazla, reaktif silis miktarının da %25'den fazla olması gerekmektedir (TS EN 197-1, 2002).

KYB karışımları içerisinde, endüstriyel yan ürün olarak ortaya çıkan malzemeler son yıllarda çeşitli uygulamalarda kullanılmıştır. Farklı kategoriler için farklı kullanım alan seçenek değerleri olan UK ve kullanımına yönelik potansiyel rolü aşağıdaki gibi özetlenebilir.

Kullanım stratejileri üç ana gruba ayrılabilir; kullanım ve ekonomik değerine göre yararlı olmayan, basit dönüşüm ve ayrıntılı dönüşüm olarak gruplandırılabilir:

1. Yararlı olmayan; atık ürünlerin depolara yerleştirilen kullanımı sınırlı alan doldurma, buna bağlı olarakta jeneratör kullanımı için ekonomik bir yük oluşturmaktadır.
2. Basit Dönüşüm; atık ürünlerin sınırlı işlem veya harmanlama gerektirir. UK, ihtiyaç duyan saf materyallere olan talebin azaltılması ve enerji açısından yoğun olabilecek malzemelerin ikame edilmesi yer almaktadır.
3. Ayrıntılı Dönüşüm; atık ürünlerin gelişmiş kullanım stratejilerini yüksek katma değerli bir ürünü ekleme veya ürünü çıkarmak için önemli işlem gerektiren UK değeridir.

UK bir bağlayıcı ile birlikte katkı maddesi olarak tercih edilmesi sonucunda puzolanik özelliğinden dolayı mukavemetinde artış olduğu ve maliyetinde azalmalar saptanmıştır (Güneyisi ve Gesoğlu, 2007). UK betonda puzolanik malzeme görevi görmesi yanı sıra boşlukları doldurma özelliği de bulunmaktadır (Fraay vd., 1989).

Termik santrallerden atık madde olarak elde edilen UK toplanmasının çevre kirliliğinin engellenmesinde büyük rolü vardır. Dünya nüfusunda, meydana gelen artış insanlarda yapı ihtiyacı yanında ulaşım, konfor, yaşam, güven vb. beklentilerini arttırmaktadır. Bu beklentiler yapı sektöründe gerekli alanları gelişimi ile sağlanmaktadır. Gelişime en elverişli ve özellik bakımından en uygun malzeme beton ve betonarmedir. Gelişim bazı durumlar yanında ekonomik ve çevresel etkilere sebebiyet vermektedir. İnşaat sektöründe buna çok sık rastlanmaktadır. UK kullanımı çevreye verilen zararı da azaltmaktadır. 1 kg çimento üretmek için atmosfere salınan CO₂ yaklaşık 1 kg mertebesinde (Reiner, 2007). Çevre konusunda bilinçlenme birçok ülkede sıkı yasal düzenlemeler yanında çimento endüstrisinde çevre konusunda yeni sorumluluklar yüklemiştir (DPT, 2000). Birçok

endüstriyel atığın meydana getirdiği olumsuz çevresel etkiyi beton sektörü olumlu bir hale dönüştürmektedir.

1.7.1 Uçucu Külün Betonda Kullanımı

UK kullanımı Amerika Birleşik Devleti'nde 1930'lu yıllara denk gelmektedir. Detaylı ilk çalışmayı 1937 yılında R.E.Davis tarafından yayınlanmıştır. ABD'de UK kullanıldığı ilk proje yapımı Arizona ve Nevada'nın sınırlarında bulunan Hoover Barajında gerçekleşmiştir. İkinci UK kullanımı, Montana'daki Glacier Ulusal Parkı yakınındaki Hungry Horse Barajı idi. 1948-1952 yılları arasında inşa edilen bu yapı, 2.453.600 metrekarelik alan betonu gerektirmekteydi. PÇ'nin yaklaşık %35'i UK ile değiştirilmiştir. Tamamlandığında, Hungry Horse dünyanın en büyük üçüncü ve en yüksek ikinci beton barajıydı. 1980'lerde inşa edilen Washington DC bölgesi metro sisteminde UK içeren 200.000 metreküplük beton kullanıldı. 1996'da Atlanta'daki Yaz Olimpiyatları için inşa edilen 85.000 kişilik büyük stadyum, yüksek hacimli UK yapısının bir örneğidir (URL-1,2018). Avustralya inşaat malzemeleri sektöründeki en eski kayıtlı kullanım tarihleri 1950'ler, ABD'den ithal edilen UK, 1960'lı yılların başlarından beri Snowy Hydro Scheme (Baraj) ve diğer önemli proje inşalarında kullanılmıştır (Baweja ve Nelson, 1998). Türkiye'de ise DSİ tarafından ilk çalışmalara 1964 yılında başlanmıştır. UK kullanımı ilk kez 1967-1971 yılları arasında Gökçekaya Baraj yapımında kullanılmıştır (Engin, 2015).

ABD'de bir şirket, UK 1970'lerde PÇ'nin yaklaşık %10'unu beton karışımında değiştirmek için kullanıldı. 1980'lerin başlarında, faydaları daha iyi anlaşıldı. UK hacmi %15-20'ye yükseldi. Daha büyük sistemlerde beton için, önce %30 daha sonra %40'a kadar UK kullanıldı. 1990'larda %20 UK değişimi yaygın kütle betonu için %40'a varan oranlarda yaygınlaşmıştır. 2000'li yıllarda, giderek daha fazla mühendis yapısal betonda %40-60 UK kullanmaya hedeflemektedirler (URL-1,2018).

Çimento üretiminde puzolanik maddelerin kullanımı gün geçtikçe büyük önem kazanmaktadır. Puzolanik katkıları çimento üretiminde; maliyetleri düşürmek, dayanımı arttırmak için kullanılmaktadır (Massazza, 1989; Long ve Martel, 1995; Mangat ve Khatib, 1995).

1.8 Granüle Yüksek Fırın Cürufu

İnşaat uygulamalarında ve son zamanlarda ince agrega olarak kullanım için doğal kumların gereğinden fazla israfı nedeniyle, çeşitli kurumlarda fiyat artışlarına neden olmuştur. Birçok zarara yol açan bu durum mühendisler tarafından benzer özelliklere sahip daha ucuz olan diğer alternatif malzemeleri aramak için çalışmalar yürütülmesine neden olmuştur. Bu alternatiflerden biri, çelik endüstrisinin bir yan ürünü olan “yüksek fırın cürufu” dur. Cüruf kullanımı kumun bir kısmı ile değiştirilmesi betonda sadece inşaat maliyetinde ekonomiklik sağlamakla kalmaz aynı zamanda cürufun elden çıkarılması sorununa da çözüm üretilmiş olmaktadır.

Dünya genelinde yapılaşmanın artması ile doğal kaynakları korumak için geri dönüşüm ve yan ürünlerin daha fazla kullanması ihtiyacında artan bir odaklanma vardır. Deneysel tecrübelerle desteklenen teknik değerlendirmeye, YFC gibi yardımcı ürünlerin, birçok uygulamada, kullanılan geleneksel malzemeleri değiştirmek ve geliştirmek için uygun özelliklere sahip olduğunu göstermektedir.

Son on yılda gelişen betonda ince agrega olarak kullanılan doğal kum maliyeti inşaat maliyetini arttırmıştır. Bu durumda araştırmalar doğal kumu ucuz ve kolay ulaşılabilir alternatif malzemeler için çalışmalara yönelmiştir (Jadhava ve Kulkarni, 2012).

Gelecekte betonun küresel talebini karşılamak için, beton hazırlamak için doğal agregalara uygun alternatifler bulmak daha zor bir görev haline gelebilmektedir. Bu nedenle, doğal agregalar için alternatif kaynakların kullanımı giderek önem kazanmaktadır. GYFC agregalarının doğal agregaları değiştirerek betonda kullanılması ümit verici bir kavramdır çünkü darbe dayanımı doğal agregadan daha fazladır. Çelik cüruf agregaları, mekanik mukavemeti, sertliği, gözenekliliği, aşınma direnci ve su emme kapasiteleri nedeniyle asfalt kaplama yol karışımlarında agrega olarak zaten kullanılmaktadır (Hiraskar ve Patil, 2013).

Cüruf, çelik endüstrileri tarafından üretilen miktarlar ve talep arz aralığına iyi uyum sağlayan agrega ile benzerlikleri nedeniyle en çok aranan alternatif agrega malzemelerinden biri olmuştur. Günümüze kadar, inşaat malzemelerinde doğal malzemelerin yerine kullanılabilirliği, faydalarının farkında olmayışı, uygulama

kılavuzlarının bulunmaması ve sınırlı cüruf işleme teknikleri nedeniyle düzenli olarak kullanılmamıştır. Ayrıca, yalnızca çelik tesislerine yakın alanlarda cürufun bulunması, lojistik taşıma sorunları ve en önemlisi kısıtlamalar veya inşaatla doğal olmayan agregaların kullanımıyla ilgili standartların bulunmaması, inşaat endüstrisinde cüruf kullanımını büyük ölçüde bozmuştur. Ekolojik kaygılar ve çevresel kısıtlamalarla, doğal agregaların özellikle kumu büyük ölçüde azaltılmıştır ve gelişmiş ülkelerin çoğu, yol ve inşaatlardaki cüruf gibi alternatif veya yapay agregalara izin vermek için toplu standartlarını değiştirmiştir (BSI, 2013; ASTM, 2003; JIS, 2013).

Granüle edilmiş YFC, erimiş cürufun fırından yaklaşık 1500 °C'de su ve hava yoluyla hızlı bir şekilde soğutulması ile elde edilir. Bu su verme işlemi sırasında, erimiş cüruf, kontrollü su akış koşulu altında hızlandırılmış soğutmaya maruz kalır. Soğutulma şekilleri farklı olan cüruflarında özellikleri farklı olmaktadır. Havada soğutuldukların zaman kristal yapıya sahiptirler. Bu cüruflar yüksek mekanik özellik göstermekte ve çoğu durumda agrega olarak kullanılır. Ortalama olarak, ağırlıkça yaklaşık %0,5-0,8 FeO, %32-42 CaO, %35-40 SiO₂, %8-9 MgO, %10-19 Al₂O₃, %0,3-1,0 MnO ve %0,7-1,5 S içerir (Kumar, 2016). Amorf yapıya sahip olan YFC, farklı soğutma şekli ile değişik yapısal karakteristiklik göstermektedir. Hızlı soğutulan cüruflar, kum boyutunda oluşturulduklarında GYFC olarak tanımlanmaktadır (Erdoğan, 1995).

1.8.1 Granüle Yüksek Fırın Cürufu Tarihçesi

1862 yılında Emil Langen tarafından ilk çalışma gerçekleştirilmiştir. (ACI Committee, 1994). 1892 yılında Almanya, 1896 yılında ABD de PÇ klinkeri ve GYFC birlikte öğütülmesiyle elde edilen cürufllu çimentonun üretimi yapılmıştır (Erdoğan Sinan ve Erdoğan Turhan, 2007). GYFC'nin öğütülme işlemine tabi tutulduktan sonra beton katkı maddesi olarak kullanılması 1950 yılından sonra başlatılmıştır. Bu uygulamanın başlamasında N. Stutterheim tarafından 1948-1952 yıllarında yapılan araştırmalarda elde edilen olumlu sonuçların büyük rolü olmuştur (Erdoğan, 1997; Stutterheim, 1969; Spellman 1982). 1970'lerde Japonya'da beton için YFC agregası (kaba ve ince) ile ilgili teknik gelişmeler başlamıştır. Daha sonra, 1983 yılında, Japon İnşaat Mühendisleri Birliği (JSCE) ve Japon Mimari Enstitüsü (AIJ), agrega olarak YFC kullanılarak beton yapısal tasarımı ve dökümü için teknik standartlar oluşturulmuştur.

Hava soğutulmalı YFC agregaları ile yapılan taze betonun homojenliği ile ilgili hususlar, ilk olarak 1940’larda McLaughli ile belirtilen belgelerde ortaya çıkmıştır:

Laboratuvarda, kaba agregası olarak cüruf kullanılarak tatmin edici işlenebilirlik ve dayanıma sahip betonun tasarlanabileceği belirlenmiştir. Bununla birlikte, çeşitli karışımların tutarlılığını kontrol etmede önemli zorluklarla karşılaşıldığına dikkat çekmiştir. Burada çok az miktarda su ilavesi, kum ya da çakıl kullanıldığında çökmeyi çok daha fazla arttırır. Bu, özellikle karma betona izin verildiğinde, sahada ciddi sorunlara neden olabilir.

1.9 Konunun Önemi ve Amacı

Bu araştırmanın temel amacı, betonun davranışını ve betonun özelliklerinde meydana gelen değişiklikleri, granüle yüksek fırın cürufu (GYFC) agregaları ile doğal agregası kullanımının yerini alarak incelemektir. GYFC bir yan üründür ve betonda agregası olarak kullanılması ekonomik ve çevre dostu bir çözüm olabilir. Gelecekte agregası için uygun alternatifler bulmak önemlidir.

Bu tez çalışması kapsamında kum yerine GYFC dört farklı oranda değiştirilerek KYB karışımı üretilmiştir. Her katkı ile 1 m³’te %25, 50 ve 75 olmak üzere GYFC agregası içeren betonlar ve hiç GYFC agregası içermeyen referans beton numuneleri üretilmiştir. Bu durumda hem GYFC agregası değerlendirmek hem de beton karışımına GYFC agregası ilave edilebilirliği hakkında bulunan verilerle yorumlar yapılmaktadır.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR

Türkiye’de Kendiliğinden Yerleşen Beton (KYB) terimi kullanılmakta olup ayrıca Kendiliğinden Sıkışan Beton (KSB) veya Kendiliğinden Sıkışarak Yerleşen Beton isimleri de kullanılabilmektedir (Felekoğlu, 2003).

2.1 Kendiliğinden Yerleşen Beton Üzerine Geçmiş Çalışmalar

Felekoğlu (2004), çalışmasında taş tozu ve UK farklı oranlarda kullanılmasıyla 32 farklı KYB hazırlamıştır. Taze ve mekanik özellikleri incelenmiş ve toz tiplerinin etkinliklerini birbirleriyle karşılaştırmıştır. Çalışmanın sonucunda ise KYB’de kullanılan toz tipinin değişmesi ile taze betonun aynı performansı göstermesi için gerekli yayılma çapı ve V-hunisi sınır değerlerinin değiştiğini göstermiştir. Bağlı taş tozu/uçucu kül oranı arttıkça viskozitenin düştüğünü ifade etmiştir. UK kullanarak taş tozuna kıyasla düşük s/ç oranlarında, yüksek dayanım elde etmenin mümkün olduğunu göstermiştir.

Felekoğlu vd. (2005), çalışmalarında, normal beton ve KYB karışımları ile silindir formunda örnekler hazırlamışlardır. Bu karışımların kesitlerinde görüntü işleme teknikleri kullanarak boşluk analizi yapmışlardır. Çalışma sonuçlarında hem boşluk adedi, hem de boşluk alanının toplam alana oranı için normal beton’dan elde edilen değişkenlik katsayılarının KYB’ye kıyasla çok daha yüksek olduğu bildirmişlerdir. KYB’de iri boşlukların daha homojen bir boyut dağılımında olduğunu ortaya koymuşlardır.

Erdoğan vd. (2005), araştırmalarında bileşim bakımından 10 farklı, KYB hazırlanmış ve 10×10×16 cm ebatlarında prizma numuneler üretmişlerdir. Farklı oranlarda SD ve UK içeren betonların toplam bağlayıcı miktarı 550 kg/m³ olarak sabit tutmuşlardır. Farklı koşullarda kür uygulandıktan sonra numuneler 200 hızlı donma-çözünme çevrimine tabi tutulmuş daha sonra kapiler su emmeleri ve aşınma kayıpları belirlenmiştir. Çalışmalarında havada kür edilen betonların kapiler su emmeleri donma-çözünme uygulanan tüm betonlarınkinden daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Tüm kür koşullarında kapiler su emme ve aşınma kaybı SD ve UK ikamesinin düşük tutulduğu betonlarda azaldığı ancak

ikame oranı yükseldikçe gerek su emme gerekse aşınma kaybında hafif bir artış eğilimi gözlemlenmiştir. Aşınma kaybı laboratuvar ortamında 28 gün havada kür sonrası donma-çözünmeye tabi tutulan tüm betonlarda en yüksek olduğunu belirtmişlerdir.

Çalışkan vd. (2006), KYB ve normal beton özelliklerini (basınç dayanımı, çekme dayanımı ve ultrases hızı) incelemişlerdir. Her iki beton numunelerini de 3, 7, 14 ve 28 gün boyunca üç farklı küre (su, naylon ve hava) bırakmışlardır. Sonuçta olarak bütün özelliklerinde KYB numunelerin normal betondan daha iyi performans gösterdiği ortaya çıkmıştır. KYB'nin normal beton ile karşılaştırıldığında 7 günlük kür sürelerinde çekme mukavemeti değerleri arasındaki değerlerin çok az fark olduğu, sonraki 14 ve 28 günlük süresinde KYB numunelerinin kontrol betonuna kıyasla daha yüksek çekme mukavemetine ulaştığı gözlenmiştir.

Mohamed (2011), iki çimento içerikli KYB deneysel bir çalışma sunmuştur. Çalışmasında, birincisi UK yüzdeleri, ikincisi SD yüzdeleri ve üçüncüsü UK ve SD'nin bir karışımını kullanarak üç çeşit karışım oluşturmuştur. V-huni testi, taze KYB üzerinde gerçekleştirmiştir. Beton basınç dayanımı değerleri belirlemiştir. UK'nın %30'una kadar, bundan sonra UK yüzdesindeki artış beton basınç dayanımı değerlerinde düşüşe yol açtığını göstermiştir. En yüksek beton basınç dayanımı değeri SD'nin %15'inden elde edildiğine ulaşmıştır. Tüm test durumları için en yüksek basınç dayanımı değerinin, 7 ve 28 gün suda kürlenmiş numunelerden elde edildiğini ve en düşük basınç dayanımı hava kürlenmiş numunelerde ulaşmıştır. UK'nın %30'una kadar beton basınç dayanımı değerlerinde artmış olduğuna ulaşmıştır.

Uysal ve Yılmaz (2011), araştırmalarında mineral katkıların KYB'nin özellikleri üzerine etkisini incelemişlerdir. Karışımda kireçtaşı tozu, bazalt tozu ve mermer tozunun PÇ'nin kısmi ikame olarak faydaları belirtmişlerdir. Karışımda kireçtaşı tozu, bazalt tozu ve mermer tozunun KYB üretiminde herhangi bir ek işlem yapılmadan doğrudan kullanıldığı bildirmişlerdir. Tüm karışımlar için su/bağlayıcı (s/b) oranı 0,33'te tutulmuştur. İncelenen özellikler arasında işlenebilirlik, hava içeriği, basınç dayanımı belirtmişlerdir. Sonuç olarak KYB üretiminde atık kireçtaşı tozu, bazalt tozu ve mermer tozunun mineral katkı olarak başarıyla kullanmanın mümkün olduğunu göstermişlerdir.

Uysal ve Sümer (2011), çalışmalarında KYB özellikleri ile ilgili deneysel bir çalışma yapmışlardır. PÇ, çeşitli oranlarda UK, GYFC, KT, BT ve MT ile değiştirmişlerdir. Mineral katkı maddelerinin KYB'nin işlenebilirliği, basınç dayanımı, ultrasonik hız, yoğunluğu ve sülfat direnci üzerindeki etkisi araştırması yapmışlardır. Sülfat direnci testleri, 400 gün boyunca %10 magnezyum sülfat ve %10 sodyum sülfat çözeltilerine daldırmayı içermektedir. Çalışmalarında test sonuçları, kullanılan mineral katkıları arasında, UK ve GYFC'nun, KYB karışımlarının işlenebilirliğini ve sıkıştırma kuvvetini önemli ölçüde arttırdığını gösterdi. PÇ'nin %25'ini UK ile değiştirmek 400 günde 105 MPa'dan fazla bir güce sahip olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca, mineral katkıların varlığı, sodyum ve magnezyum sülfat saldırısı nedeniyle oluşan mukavemet kaybı üzerinde olumlu bir etkiye sahipti. Öte yandan, sodyum ve magnezyum sülfat ataklarına en iyi direnç, %60 PÇ ile %40 GYFC kombinasyonundan elde edildiği belirtmişlerdir.

Uysal vd. (2012), çalışmalarında, KYB üretiminde çeşitli mineral katkıların etkinliğini değerlendirmişlerdir. Bu amaçla UK, GYFC, kalker tozu (KT), bazalt tozu (BT) ve mermer tozu (MT) kullanmışlardır. KYB'nin taze deneyleri olarak, çökme akışı, T_{500} zamanı, L-kutusu ve V-huni testleri kullanmışlardır. Sertleşmiş özellikler arasında 7 ve 28. günlerde basınç dayanımı incelenmiştir. Kullanılan mineral katkıları arasında UK ve GYFC'nun KYB'nin çalışabilirliğini önemli ölçüde arttırdığı sonucuna ulaşmışlardır. Ulaştıkları test sonuçları, PÇ %20'sini GYFC ile değiştirmek, 28 günde 78 MPa'dan fazla güç sağladığını, ayrıca, klorür iyon geçirgenliğine en iyi direnç %40 PÇ ile %60 GYFC kombinasyonunda ulaşmışlardır.

Wongkeo vd. (2014), çalışmalarında yüksek kalsiyum UK ve SD'nin ikili ve üçlü harmanlanmış bir çimento olarak basınç dayanımı ve klorür direncine etkisi incelemişlerdir. Çimento yerine ağırlıkça %50, 60 ve 70 oranında yüksek kalsiyumlu UK (%40-70) ve SD (%0-10) kullanmışlardır. Basınç dayanımı, yoğunluğu, boşluk ve KYB'nin su emilimi incelemişlerdir. Çalışmaların sonucunda yüksek mukavemetli KYB elde edilebilir olduğunu bildirmişlerdir. PÇ'ye benzer 28 gün basınç dayanımı, %10 SD ile %40 UK için ulaşmışlardır. UK ve SD'nin, yüksek hacimli PÇ değişim içeriğinde KYB'nin klorür direncini artırabileceğini göstermişlerdir.

Leung vd. (2016), çalışmalarında UK ve SD içeren KYB emilim testi kullanılarak yüzey su emilimini sunmaktadırlar. Geleneksel PÇ kısmen UK ve SD'nin çeşitli kombinasyonlarıyla

değiştirmişlerdir. Çalışmalarında ki test sonuçları UK ve SD'nin varlığının, KYB'nin 0,38'lik bir su-bağlayıcı oranında yüzey su emilimini önemli ölçüde azalttığını göstermektedirler. Geleneksel PÇ'nin kısmen değiştirmek için sadece UK kullanıldığında, UK içeriği %20'den büyük olduğunda, emicilikte daha belirgin bir azalma görüldüğünü ve UK ile SD ilavesi, genel olarak 28 günlük küp kuvvetlerinde arttığını göstermişlerdir.

Altoubat vd. (2017), KYB çatlama ve gevşeme davranışındaki UK etkinliğini değerlendiren kısıtlanmış çekme testleri sonuçları araştırmışlardır. Araştırma sonucunda sertleşme koşulunun ve kısıtlama derecesinin, KYB karışımlarının çatlama ve gevşeme davranışında UK'nın etkinliği üzerinde önemli bir rol oynadığını göstermiş olduğunu belirtmişlerdir. UK ilavesinin çatlama direncini arttırdığı da tespit etmişlerdir.

Hama ve Hilal (2017), çalışmalarında KYB taze özellikleri üzerinde ince atıkların kısmi yerine plastik atık kullanılmasının etkilerini araştırmayı amaçlamıştır. F Sınıfı UK, çimentonun kısmi ikame edilmesi olarak kullanıldı (ağırlıkça %30). %0, 2,5, 5, 7,5, 10 ve 12,5 ve altı farklı plastik atık içeriği ve üç farklı boyutta plastik atık (ince plastik atıklar, kaba plastik atıklar ve karışık plastik atıklar) deneysel parametreler olarak kabul etmişlerdir. KYB karışımlarının işlenebilirlik özellikleri çökme akış çapına, T_{500} çökme akış süresi, V-huni akış süresi, L-kutu yükseklik oranı ve L-kutu T_{20} ve T_{40} akış zamanlarını incelemişlerdir. KYB'lerin 28 günlük basınç dayanımlarını da ölçmüşlerdir. Çalışmanın deneysel sonuçları, bu çalışmada kullanılan boyut ve içeriğe sahip plastik atıkların KYB'de başarılı bir şekilde kullanılabileceğini göstermiştir. 35 MPa'dan daha fazla basınç dayanımına sahip kendiliğinden yerleşen plastik atık beton kolayca üretilebildiğini göstermişlerdir. Mukavemet sonuçları incelediklerinde, plastik atıkların KYB üretiminde kullanılmasının, basınç dayanımının sistematik olarak azalmasına yol açtığını göstermiştir.

Huang vd. (2018), çalışmalarında polikarboksilat süper plastikleştiricinin ve bir reçine tipi hava sürükleyici maddenin toz viskozite değiştirici katkı kombinasyon tipi KYB reolojik özellikleri üzerindeki etkisini araştırmaktadır. Bu spesifik KYB'nin davranışını tanımlamak için Bingham modeli uygulamışlardır. Çalışmaların sonucunda, KYB'nin hem akma gerilmesi hem de plastik viskozitesinin önemli ölçüde azaldığını göstermişlerdir. Hava sürükleyici madde eklenmesi akma gerilmesinin artmasına ve plastik viskozitesinin azalma olduğunu göstermişlerdir.

Güneyisi vd. (2019), nanosilika (NS) ve UK içeren cam elyaf (CE) takviyeli KYB taze ve reolojik özelliklerine odaklanmaktadır. Farklı miktarlarda puzolanik ikame çimentosu (nanosilika ve UK'dan yapılmış) içeren KYB takviyeli CE'den 15 karışım, 0,35 sabit bir su-bağlayıcı oranında ve toplam 550 kg'lık bir bağlayıcı içeriğinde hazırlanmıştır. Eklenen F sınıfı UK, toplam bağlayıcı içeriğinin ağırlıkça %25'ini oluşturmuştur. Çökme akış süresi, L-kutu yükseklik oranı ve V-huni akış süresi. Ayrıca, KYB'nin reolojik davranışını ölçmek için ICAR reometresindeki verilere uygulandı. Sonuçlar, %2 ve %4 NS'nin değiştirildiği kendiliğinden yerleşen beton ve maksimum GF miktarının düşük işlenebilirlik artış oranına ulaştığını göstermiştir. NS içeriğinin %0'dan %4'e yükselmesinin ve CE hacminin %0'dan %1,5'e yükselmesinin hem çökme akışında hem de V-huni akış zamanlarında bir artışa yol açtığı görülmüştür.

Matos vd. (2019), yüksek hacimli UK yüksek performanslı KYB ekolojik verimi, taze hali ve uzun vadeli mekanik özellikleri değerlendirilmiştir. KYB, %40-60 PÇ değişimi ile farklı uçlara sahip üç UK tarafından hazırlandı. KYB reolojik özellikleri, beton işlenebilirlik testleri ile değerlendirildi. UK'ların çimento replasmanının CO₂ üzerindeki etkisini değerlendirmek için yaşam döngüsü değerlendirmesi analizi yapıldı. Sonuçlar UK ile çimento replasmanının KYB'lerin viskozitesini ve süperplastikleştirici içeriğini azalttığını ve geçme yeteneklerini geliştirdiğini göstermiştir. Ögütme ile elde edilen en iyi UK, stabiliteyi arttırmada en etkili oldu ve her yaşta en yüksek basınç dayanımlarına yol açtı. Çimentonun UK ile değiştirilmesi, KYB'lerin reolojik özelliklerini geliştirmiştir. %40-60 UK içeren KYB'ler, 180 güne kadar mukavemet artışı göstermiştir.

Abdalmid vd. (2019), KYB'nin uzun vadeli kuruma büzülmesini araştırmışlardır. Tüm KYB karışımları için, PÇ'nin UK ile 0-60 değiştirilmiştir. Hem KYB hem de normal beton için 0,44 ve 0,33 olan iki farklı su bağlayıcı oranı incelenmiştir. Doldurma kabiliyeti, geçme kabiliyeti, viskozite ve ayrışmaya karşı direnç gibi KYB'lerin taze özellikleri ve sıkıştırma ve eğilme dayanımları, su emme ve KYB'lerin ve normal betonların yoğunluğu gibi sertleştirilmiş özellikler de belirlemişlerdir. Sonuçlar gösterdi ki çimento replasmanı olarak %60'a kadar UK kullanılması, 30 MPa kadar yüksek bir basınç dayanımı ve düşük çekme gerilimi ulaşılmıştır. KYB'lerin 356-1000 gün arasında uzun süreli kuruma büzülmesi normal betonlardan daha yüksek olduğuna ulaşmışlardır.

Benaicha vd. (2019), araştırmalarında süperakışkanlaştırıcı kullanarak KYB'nin reoloji ve basınç mukavemetini incelemişlerdir. Beton karışımları 8 farklı süperakışkanlaştırıcı dozu içermektedir. Kullanılan reoloji ölçümleri, çökme akışı, V-huni, L-kutusu, akma gerilmesi ve plastik viskozitedir. Kullanılan mekanik testler basınç dayanımına ulaşılmaktadır. Araştırma sonucu olarak basınç dayanımı, süper akışkanlaştırıcı dozajının artmasıyla azaldığına ulaşmışlardır. Süperakışkanlaştırıcı dozajından bağımsız olarak, bulunan sonuçlar, KYB reolojik özelliklerinin, basınç dayanımının ölçülmesine dayanarak tahmin edilmesine olanak sağladığı belirtmişlerdir.

2.2 Uçucu Kül Üzerine Geçmiş Çalışmalar

Malhotra (1990), çalışmasında düşük kalsiyum (F sınıfı) yüksek hacimli içeren UK, betonun çimento içeriğı 150 kg tutmuş olup, su ile çimento oranı 0-30 arasındadır ve UK toplam çimento esaslı malzemenin %54 ile %58'i arasında değışmekte olduğunu bildirmiştir. Yüksek işlenebilirlik elde etmek için büyük bir süper akışkanlaştırıcı dozajı kullanmıştır. Çalışmasının sonucu olarak yüksek hacimlerde düşük kalsiyumlu UK içeren betonun donma etkisine karşı mükemmel dayanıklılığa sahip olduğunu, klorür iyonlarına çok düşük geçirgenliğe sahip olduğunu ve yüksek reaktif agregaların betona dâhil edildiğinde ters bir genleşme göstermediğini belirtmiştir.

Carrette vd. (1993), UK ve PÇ kullanarak taze ve sertleştirilmiş yüksek hacimli UK betonlarının özelliklerini belirlemek için araştırmalarını yapmışlardır. Yüksek hacimli UK betonunda, su ve çimento içeriğı düşük tutmuşlardır. İçeriğindeki UK oranı %55 ile %60 arasında değışmektedir. Çalışmalarında test sonucunda, kullanılan UK ve çimentolarla yüksek performanslı hava sürüklenen yüksek hacimli UK betonunun üretilebileceğı sonucuna varmışlardır. Betonlar aynı zamanda hem erken hem de geç yaşlarda, basınç dayanımı 91 günde 50 MPa ulaşan mekanik özelliklere sahip olduğu ve incelenen betonların sünme ve kuruma büzülmesi nispeten düşük olduğuna ulaşmışlardır.

Jiang ve Malhotra (2000), kütlece çimento değışimi olarak %55 UK içeren havasız tutulan beton üzerinde çalışmışlardır. Su-çimento malzeme oranları 0,34 ile 0,39 arasındadır. Çimento içeriğı 400 kg/m³ tutulduğunu belirtmişlerdir. Çalışmaları sonucunda

betonun basınç dayanımı 7 günde 18,0-42,2 MPa, 28 günde 30,7-55,8 MPa ve 3 ayda 43,9-65,2 MPa olarak gözlemlenmiştir.

Yaprak vd. (2004), UK ve YFC'nin süper akışkanlaştırıcı katkı betonların özelliklerine etkilerini incelemiştir. PÇ yerine ağırlıkça %0, 10, 20 ve 30 oranlarında UK ve YFC ikame edilmiş ve akışkanlaştırıcı katkı katılmıştır. Üretilen betonlar küp numuneler hazırlanmış ve 7, 28, 90 günlük süre boyunca kür edilmiştir. Hazırlanan numunelere basınç deneyi ve yarmada çekme deneyleri yapılmıştır. UK ve YFC katkı betonlar birbirleri ile hem de sadece çimento ile üretilmiş olan numunelerle karşılaştırılmıştır. UK %10 ve YFC'nin %20 oranında kullanıldığı betonlar en yüksek basınç dayanımı değerlerini vermişlerdir. Betonda ikame edilen UK ve YFC miktarı arttıkça çökme değerleri azaldığı, ikame edilen miktar arttıkça karışımların işlenebilirliği azalmaktadır. YFC ikameli betonlardan en düşük çökme değerleri elde edilmiştir.

Eren ve Yılmaz (2004), YFC ve UK'yı PÇ yerine ikame ederek değişik kür sıcaklıklarının oluşturulan betonların basınç dayanımına etkisini incelemiştir. Tüm sıcaklık değerlerinde UK ve YFC çimentoların normal PÇ'ye göre daha yavaş dayanım gösterdiğini belirtmişlerdir. 20°C kür sıcaklığında ve 7 gün sonrasında PÇ'li betonlar en yüksek dayanım değeri olduğuna ulaşmışlardır.

Siddique (2004), araştırmasında beton karışımında UK (F sınıfı) yüzde kullanımı %10-15 civarında kullanmıştır. Yüzde kullanımını artırmak için, betonda kullanımı için kapsamlı bir araştırma yapmıştır. Yüksek miktarda UK içeren beton ile ilgili deneysel bir araştırmanın sonuçlarını sunmuştur. PÇ %40, 45 ve 50 UK ile değiştirilerek taze beton özellikleri için testler yapmıştır. Çalışmasında test sonuçları, yüksek miktarda F Sınıfı UK betonda kısmi bir çimento değişimi olarak kullanılmasının, 28 günlük sıkıştırma, ayrılma gerilmesi ve eğilme dayanımlarını, elastisite modülünü ve betonun aşınma direncini azalttığını göstermiştir. Bununla birlikte, tüm bu mukavemet özellikleri ve aşınma direnci, büyük olasılıkla UK puzolanik reaksiyonundan kaynaklanacak şekilde 91 ve 365 günlerde sürekli ve önemli bir gelişme gösterdiğini belirtmiştir. UK, prekast elemanlarda ve betonarme beton yapımında kullanılmak üzere betonda %50'ye kadar çimento değişim seviyesine kadar kullanılabileceği sonucuna varmıştır.

Topçu ve Demir (2005), çalışmalarında standart harç numunelerinde çimento yerine %0, 10, 20 ve 30 oranlarında UK katılmıştır. 3 saat süreyle 150, 300, 400, 600 ve 900 °C sıcaklıklarda tutularak ve sonrasında havada soğumaya bırakıldıktan sonra fiziksel ve mekanik özellikleri her sıcaklık için değerlendirmişlerdir. 300 ve 400 °C sıcaklıklarda tutulan UK katkılı numunelerin eğilme dayanımlarında kontrol numuneleriyle karşılaştırıldığında %20 ve 30 UK içeren numunelere göre dayanımları sıcaklıklarda artan UK miktarına rağmen harç numunelerinin basınç dayanımlarının da farklılıkların fazla olmadığı belirtmişlerdir. Belirli yüzdelerde betona katılan UK'nın; yangın ve yüksek sıcaklık etkisinde betona, 600 °C kadar olan sıcaklıklarda özellikler kazandırdığı, kazandırdığı bu özellik yanında eğilme ve çekme dayanımlarında azalmalar meydana getirdiği çalışma sonunda saptamışlardır.

Aggarwal vd. (2010), UK'nın betona dâhil edilmesinin erken yaşlarda basınç mukavemetini azalttığı ancak daha sonraki yaşlardaki basınç dayanımı artmakta olduğunu belirtmişlerdir. Betonun %40'ı çimento ile değiştirilirken, 28 gün basınç dayanımı, referans beton ile aynı seviyede olduğuna ulaşmışlardır.

Huang vd. (2010), çok yüksek miktarlarda F sınıfı UK içeren betonla ilgili deneysel bir araştırma için, iki tür F sınıfı UK kullanılmıştır. Çimento için %20-80 UK değişimi ile beton için rasyonel bir karışım tasarım yöntemi geliştirilmiştir. Taze ve sertleşmiş beton özellikleri için testler yapmışlardır. Çalışmalarında ki test sonuçları, UK değişim seviyesi arttıkça, ayar sürelerinin ve UK betonunun hava içeriğinin arttığını göstermişlerdir. Beton karışımlarının basınç ve eğilme dayanımı, 91 ve 365 yaşlarında sürekli ve belirgin bir iyileşme gösterdiğini belirtmişlerdir.

Nath ve Sarker (2011), çalışmalarında yüksek hacimli F sınıfı UK kullanan yüksek mukavemetli betonun dayanıklılık özellikleri incelemişlerdir. Test numunelerinin dökümü için UK ile toplam bağlayıcıların %30'u ve %40'ı kadar kullanmışlardır. UK ve kontrol beton örneklerinin basınç dayanımı, kuruma büzülmesi, emicilik ve hızlı klor geçirgenliği belirlemişlerdir. Araştırma sonucunda, çimento kısmen s/b oranında ayarlama yapılmadan UK ile değiştirildiği zaman, 28 günlük dayanımın düştüğünü belirtmişlerdir. Bununla birlikte, 28 günlük basınç dayanımı 60 MPa olan beton, 0,31 s/b oranı ve %40 UK ile elde edildiğini bildirmişlerdir. Sıkışma dayanımı 56 günde 80 Mpa ulaştığını ve UK

betonlarının mukavemet gelişimi 56 güne kadar belirgin bir şekilde devam ettiğini ifade etmişlerdir.

Bingöl ve Tohumcu (2013), araştırmalarında, KYB'nin basınç dayanımı üzerindeki hava kuru, su kuru ve buhar kuru etkisini göstermektedir. Deneysel çalışmaları için, ağırlıkça %5, 10 ve 15 oranlarında çimento yerine SD ve %25, 40 ve 55 oranlarında UK kullanılarak üretilmişlerdir. Mineral katkı maddelerinin kendi kendine yerleşme özellikleri üzerinde olumlu etkileri olduğu görüldüğü belirtilmiştir. Beton numunelerinde en yüksek basınç dayanımı %15 SD kullanılarak ve 28 gün su kürlendiğinde gözlemlenmiştir. Hava kuru tüm gruplarda basınç dayanımı kayıplarına neden olduğu belirtilmiştir. UK serisi, işlenebilirlik özellikleri bakımından SD serisine göre daha iyi performans gösterdiğini ifade etmişlerdir.

Rashad (2015), PÇ geleneksel beton karışımlarında kısmi bir çimento değişimi olarak yüksek hacimli F Sınıfı UK kullanımı ile ilgili çalışmalara genel bir bakış sunmaktadır. Yüksek hacimli F Sınıfı UK, erken yaşlarda mekanik mukavemeti ve aşınma direncini keskin bir şekilde azaltmıştır. UK miktarının artması donma-çözülme direncini etkilememiştir, fakat kurutma büzülmesini ve pH değerini düşürmüştür. Yüksek hacimli UK dâhil edilmesi poroziteyi ve su emme yüzdesini arttırmıştır, ancak uzun süreli dayanıklılığı artırabilen geçirgenliği ve klorür iyonu penetrasyonunu azalttığı sonucuna ulaşmıştır.

Wang vd. (2017), UK ve SD içeren betonun donma-çözülme ve sülfat ataklarına karşı dayanıklılığı incelenmiştir. Karışımda s/b 0,38 ve 0,33 olan ve UK (ağırlıkça %10, 15 ve 25) ihtiva eden ve PÇ kısmi ikame olarak SD (ağırlıkça %5, 8 ve 11) içeren betonlar donma-çözülme döngüleri altında %5 ve %10 sodyum sülfat çözeltisine maruz bırakılmışlardır. %5 sodyum sülfat çözeltisine maruz kaldığında, hem UK hem de SD betonun sülfat saldırısına karşı direncini artırabildiğini ifade etmişlerdir. SD ve UK daha iyi performans gösterdiği belirtilmiştir. Ağırlık olarak %25 UK ve %5-8 SD değiştirme seviyesi, betonun donma-çözülme ve sülfat saldırısına karşı direncinde önemli gelişmelere ulaşmışlardır.

Shen vd. (2017), UK ile harmanlanmış çimento macunu ve çimento macununun mikroyapı gelişimi, katı fazdan gözenek fazına kadar 3 yıla kadar uzun süreli bir kürlenme döneminde

incelenmişlerdir. Katı fazlar çevresel taramalı elektron mikroskobu ile gözlenmekte olduğunu belirtmişlerdir. Karışımli çimento macununun gözenek yapısı cıva sızması porozimetresi ile belirlendiğini ifade etmişlerdir. Çalışmalarında ulaştıkları sonuç, UK ilavesinin, sadece erken yaşlarda değil, 3 yıllık küreleşme yaşlarında bile, çimento pastasının toplam gözenekliliğini arttırdığını göstermektedirler.

Lin vd. (2017), çalışmalarında, matrisin kendiliğinden yerleşen gerilmeye dayanıklı çimentolu kompozitlerin üretiminde rolünü araştırmışlardır. Akışkanlığa sahip yüksek hacimli UK macunları ilk olarak tasarladılar, ardından kompozit malzemeler üretmek için mikro polivinil alkol elyafları eklediler. Çalışma sonunda, kompozitlerin taze halde kendiliğinden sıkıştığını ve sertleştirilmiş durumda stabil çoklu-çatlama ve zorlanma-sertleşme davranışı sergilediğini gösterdiler. UK, sadece taze karışımların işlenebilirliğini değiştirmek için değil, aynı zamanda matris gücünü gerilmeye dayanıklı çimentolu kompozitlerin malzemeleri üretmek için uygun değerlere ayarlamak için de kullanıldığı ifade etmişlerdir.

Saha (2018), çalışmasında, karışımda kullanılan UK (F sınıfı) betondaki bağlayıcıyla yer değiştirmesi olarak uygulanmasını değerlendirmesini incelemektedir. Kontrollü bir ortamda ve kireçle doymuş su içerisinde yapılan beton karışımları ıslak küreleme için ve hava küreleme için ortam sıcaklığı kullanmıştır. Deneysel çalışma, UK betonun özellikleri üzerindeki etkisini değerlendirmiştir. UK bağlayıcı olarak dâhil edilmesi, betonun gözenekliliğini azalttığını belirtmiştir. UK betonu daha düşük su emiciliği ve klorür geçirgenliği sergilediğini belirtmiştir. F sınıfı UK ilavesiyle, 28 günlük kürelemeden sonra betonun basınç dayanımı UK içeriğinin artmasıyla azaldığını ifade etmiştir. Bununla birlikte, %30 ve %40 UK betonunun basınç dayanımı, puzolanik reaksiyona bağlı olarak kademeli olarak 180 güne kadar arttığını göstermiştir. UK, hidrasyon oranını düşürdüğü, böylece UK betonunun kuruma büzülmesi, kontrol betonuna kıyasla oldukça düşüktü. UK ilavesinin, puzolanik reaksiyonla bağlayıcı matris yoğunluğunu arttırdığını göstermiştir.

2.3 Granüle Yüksek Fırın Cürufu Agregaları Üzerine Geçmiş Çalışmalar

Agrega boyutunda GYFC betona başarıyla dâhil edilmesi geçmişte incelenmiştir. Agregada boyutunda GYFC endüstriyel bir yan üründür ve atık depolama alanlarına doldurmak

yerine, atık ürünleri inşaat pazarında kullanılması ekonomiyi artıracaktır. Potansiyel olarak genişleyici özelliklerinden dolayı, kullanıldığı durumlarda özel bakım gerektirmektedir.

Bayomy ve Wahhab (1988), asfalt kaplamada yerel çelik cürufunun kullanımı incelenmişlerdir. Bayomy ve Abdul Wahhab, ABD'deki kaba agregaya yerine çelik cürufun kullanılabileceği sonucuna varmıştır. Asfalt beton karışımlarında cüruf kullanımının önemli ölçüde daha iyi sonuçlar verdiğine ulaşmışlardır.

Abdulaziz çalışmasında (1996), Bu çalışmada, yerel olarak üretilen elektrik ark fırını (EAF) çelik cürufunun beton üretiminde kullanımı incelenmiştir. Cüruf, sert olduğundan ve yapısında kireç gibi zararlı olabilecek serbest bileşenler bulunmadığından iri agregaya olarak kullanılmıştır. Hem cüruf hem de çakıl içeren betonunun kuruma büzülmesinin yanı sıra mekanik özellikleri de ölçülmüştür. Sonuçlar cüruf içeren betonların basınç ve eğilme dayanımlarının çakıl içeren betonlar ile aynı veya biraz daha yüksek olduğunu göstermiştir. Yarmada çekme dayanımı ve elastisite modülü biraz daha yüksek çıkarken, kuruma büzülmesi düşük çıkmıştır. Çalışmanın sonuçları cürufun iri agregaya olarak kullanımının olumsuz bir etkisi olmadığını ve kısa süreli özellikleri incelendiğinde sorun meydana getirmediğini göstermiştir. Ancak daha fazla bilgi verebilmek için uzun süreli çalışmalar gerçekleştirilmelidir.

Quasrawi vd. (2000), çalışmalarında cüruf karışımlarında ki kumu kısmen veya tamamen değiştiren ince agregaya olarak kullanmışlardır. %0, 15, 30, 50 ve 100 oranları kullanarak, çekme dayanımı için %30-50 ve basınç dayanımı için %15-30 değişim oranları için en iyi sonuçları elde etmişlerdir.

Elektrik ark fırını (EAF) cürufu ile yapılan betonun agregaya olarak dayanıklılığı üzerine bir çalışmayı Manso ve Gonzalez (2004) tarafından yapılmış ve sonuçlar kabul edilebilir olduğunu göstermişlerdir. EAF cürufunun kullanıldığı beton karışımları, iyi taze ve sertleştirilmiş özellikler ve agresif çevreye karşı kabul edilebilir davranış sergilemiştir. Mukavemetinin geleneksel betona benzer olduğu görülmüştür. Dayanıklılık geleneksel betondan biraz daha düşük olduğunu belirtmişlerdir.

Mansovd (2006), çelik cüruf agregaya betonunun mekanik dayanımı ve dayanıklılık oranlarını geliştirmiştir. Dayanıklılık için iki test yapıldı: Otoklav testi ve hızlandırılmış

yaşlanma testi yapmaktadırlar. Hava sürükleyici katkıların kullanıldığını da belirtmişlerdir. Cüruf agregaları ve diğer beton bileşenleri arasında olası reaksiyon gözlenmek için test yapılmıştır. Çelik cürufunda birkaç tehlikeli ağır metal bulunmakta olduğunu belirtmişlerdir. Sonuç olarak basınç dayanımının arttığını, donma-çözülme ve cüruf betonunun dayanıklılığı yeterli olduğunu ve çelik cüruf gibi endüstriyel yan ürünler potansiyelinin detaylı bir çalışmasını gerektiğini belirtmişlerdir.

Takashi vd. (2007), beton numuneleri çelik cüruf agregaları ile hazırladılar, geri dönüşümlü agregalar ve ezilmiş agregalar birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Araştırmada kullanılan çelik cüruf agregalarının büyüklüğü 15-20 mm arasında değişmekte olduğunu belirtmişlerdir. Numuneler, her 5 saatte bir, su içinde -18 °C ile 5 °C döngüsel olarak maruz bırakıldı. Araştırmaları sonucunda, çelik cüruf agregası betonunun donmasına ve çözülmesine karşı direncin, geri dönüştürülmüş agregalardan daha iyi olduğunu ve neredeyse kırmataş ile aynı olduğunu göstermişlerdir.

Patel (2008), doğal agrega yüzdesinin bir kısmının çelik cüruf agregaları ile değiştirilmesinin mukavemet değerleri üzerine ciddi bir etkisi olmadığı gözlenmiştir. Çelik cürufunun %75'in üzerinde kullanıldığı durumlarda, betonun işlenebilirliği önemli bir problem haline gelmiştir. Bu nedenle minimum kabul edilebilir slump değerine ulaşabilmek için yüksek oranlarda su azaltıcı katkı kullanma zorunluluğu ortaya çıkmıştır. Sonuçlar, yaklaşık olarak %50 ila 75 oranında çelik cüruf agregalarının doğal agregalar için hacimle değiştirilmesinin betona zarar vermeyeceğini ve ayrıca dayanım ve dayanıklılık üzerinde olumsuz bir etkisi olmayacağını göstermiştir.

Gaddo ve Pellegrino (2009), geleneksel betonun doğal agregalarını büyük oranda EAF cürufuyla değiştirme araştırma çalışması yapmışlardır. Agregası olarak EAF cürufu içeren betonun basınç dayanımı ve dayanıklılık özellikleri (donma ve çözülme, ıslanma ve kuruma) deneysel olarak incelenmiştir. Agregası olarak EAF cürufuyla yapılan beton, normal çevre koşullarında, EAF cürufu içeren mukavemet özellikleri, geleneksel beton için gözlemlenenenden tamamen karşılaştırılabilir olduğu, iyi mukavemet özellikleri göstermiştir.

Nataraja vd. (2013), çimento harcında ince agrega GYFC kullanımı araştırmışlardır. Bu araştırmada, çimento harcı 1: 3 ve GYFC'yi 0, 25, 50, 75 ve 100 oranları ile %0'lık sabit s/ç

oranı için doğal kuma % değiştirmişlerdir. Çalışmada, 0,4 ve 0,6 s/ç oranları için GYFC ile doğal kum değişiminin %100'üne bakmışlardır. Çeşitli karışımların akış özellikleri ve çeşitli yaşlarda basınç dayanımları incelenmişlerdir. Bu çalışmadan, GYFC'nun harç uygulamalarında doğal kum için alternatif yapı malzemesi olarak kısmen kullanılabileceği gözlemlenmişlerdir. Akışkan olarak işlenebilirlikte azalma, uygun bir süper akışkanlaştırıcı yüzdesi eklenerek telafi edilebildiğine ulaşmışlardır.

Babu ve Mahendran (2014), yaptıkları araştırmaları, ince agreganın YFC ve ÖYFC ile değiştirilmesiyle betonun fiziksel ve mekanik özelliklerini incelemektir. Elde edilen deney sonuçlarına dayanarak sonuçlar çıkarılmıştır. Ulaştıkları sonuçlara bakılarak, YFC'nin %25'e kadar ince agregaya yerine ikame olarak betonda kullanılmasını teşvik eder. 40,39 MPa olan maksimum basınç dayanımı, ince agreganın %25'inin YFC ile değiştirilmesiyle elde edildi. YFC kullanımı, beton maliyetini %8 ila 10 oranında azaltacaktır.

Rao ve Bhandare (2014)'e göre, araştırmalarında GYFC bir örnek incelemesi yapmışlardır. Çimento betonundaki kırma taş kumun kısmi bir ikamesi olarak GYFC kumu uygulanması incelenmiş. Farklı beton sınıflarında laboratuvar çalışmaları yapılmıştır. M30 ila M70 arası betonda toplam ince agregaya 50:50 oranında öğütölmüş taş kumu ve GYFC kumu karışımı kullanıldı. Bu çalışmadan GYFC kumu ve kırma taş kumu karışımının betonda doğal kum için alternatif yapı malzemesi olarak kullanılabileceği gözlenmiştir.

Khajuria ve Siddsique (2014), demir cürufunun kuma kısmi değiştirilmesi olarak kullanılması araştırmışlardır. Demir cürufu, demir çelik endüstrisinden elde edilen endüstriyel yan ürünlerden biridir. Araştırmalarında, demir cürufu betonunun basınç dayanımı incelenmişlerdir. Araştırmaları sonucunda kullanımının doğrulandığını göstermişlerdir. Demir cürufu çevre kirliliği sorunlarını aşmakta olduğunu ifade etmişlerdir. Demir cürufunun ilave edildiğini olumsuzluk göstermediğini, betondan dayanıma sahip olduğunu bildirmişlerdir.

Arun vd. (2015), betonda ince agregaya geri dönüştürölmüş çelik cürufuyla yapısal betonun mekanik özelliklerini deneysel olarak incelediler. Doğal kumu kısmen değiştirmek için çelik cürufu farklı karışım oranlarında eklenmiştir. Basınç dayanımı, çekme dayanımı, eğilme dayanımı testleri yapıldı. Test sonucu, çelik cüruf ile ince agreganın optimum değişim seviyesini %40 olarak göstermişlerdir.

Sezer ve Gülderen (2015) çalışmalarında, çelik cürufunun ince ve/veya kaba agregası olarak betonda kullanımı incelenmiştir. Karışımlarında farklı s/ç oranlarında, 12 farklı beton karışımı hazırlanmıştır. Üretilen beton örneklerin eğilme dayanımı, basınç dayanımı, yarma-çekme dayanımı, donma-çözülme dayanımı ve su işleme derinliği değerleri kırma kireçtaşı veya çelik cürufu agregası içermesine göre kıyaslanmıştır. Sonuç olarak, kaba çelik cürufu içeren beton karışımları, kalker agregası içeren beton karışımlarından daha iyi performans göstermiştir. İnce çelik cüruf içeren beton karışımları, kireçtaşı agregası içeren beton karışımlarına kıyasla daha kötü performans gösterdiği belirtilmiştir. Çelik cürufunun beton karışımlarında ince veya kaba agregası olarak kullanılabileceği belirtilmiştir. Çelik cürufunun beton karışımlarında hem ince hem de kaba agregası olarak kullanılmadığı ortaya çıkmıştır. Kaba agregası olarak çelik cüruf kullanımının, ince agregası olarak kullanımdan daha uygun olduğu belirtilmiştir. Hazırlanan çalışmada beton karışımları arasında en yüksek dayanım değerleri kaba çelik cüruf agregası içeren beton karışımlarında gözlemlenmiştir. Öte yandan, en düşük dayanım değerleri ise ince çelik cüruf agregası içeren beton karışımlarında gözlemlendi.

Kumar vd. (2016), çalışmalarında beton karışımlarında GYFC kullanımını incelemiştir. İnce agregaların inşaat gelişimi ile birlikte artan bir ihtiyaç söz konusu olduğu, alternatif, çelik tesislerinde üretilen GYFC kullanımı mevcut olup, ancak özellik değişimlerinde kısmi değişimlerle sınırlı kaldığını ifade etmiştir. GYFC fiziksel olarak kumla aynıdır, ancak yoğunluğu düşüktür ve betonda kullanıldığında dayanım sorunları ile karşılaşılabilir olduğunu belirtmiştir. Bu çalışmada, bu GYFC inşaat amaçlı olarak %100 kumun yerine kullanılacak ince agregaya dönüştürülmesi için yeni bir işleme tekniği geliştirmiştir. Bu çok aşamalı işlem, cüruf granüllerinin yapısındaki ve şeklindeki değişimi içermektedir. Döküm betonun dayanımı, dayanıklılığı ve işlenebilirliği işlenmiş GYFC küp testlerinin standart gereksinimlerini karşıladığını belirtmiştir. Bu yenilikçi işlenmiş GYFC veya cüruf kumu, muazzam ekonomik etkiye sahip olduğu belirtmiştir. Karışımlarda kullanılan kumu değiştirmek, doğal kaynakların korunması ve proses yan ürünlerinin geri dönüşümü için ekonomik olarak uygulanabilir ve çevresel olarak kabul edilebilir bir alternatif malzeme olduğunu göstermektedirler.

Autade (2016), betonda ince agregası yerine çelik cüruf kullanımı araştırmıştır. %0, 20, 40, 60, 80, 100 aralığındaki değişimi incelemiştir. İkame yüzdesi arttıkça betonun işlenebilirliği azaldığını gözlemlemiştir. %20 ve %40 değişim için basınç dayanımında

önemli bir artış olduğu; eğilme dayanımı ve çekme dayanımında yaklaşık %20'den daha fazla artış olduğu ifade edilmiştir. %80 ve %100 ikame elde edilen dayanım parametreleriyle ilgili olarak beklendiği gibi olduğu ifade edilmiştir. Basınç dayanımında %10-%20 fark gözlemlenmiştir.



BÖLÜM 3

MATERYAL VE METOT

3.1 Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri

Bu deneysel çalışmada numunelerin hazırlanmasında çimento, agrega, agrega boyutunda GYFC, su azaltıcı süper akışkanlaştırıcı katkı, su ve UK kullanılmıştır.

3.1.1 Agregası

Seçilen iri agreganın en büyük tane çapı 11,2 mm olan kırmataş kullanılırken kum olarak ise doğal kum kullanılmıştır. Beton karışımında kullanılan agregaların elek analizi sonuçları Tablo 3.2’de verilmiştir. Kullanılan iri ve ince agreganın fiziksel özellikleri Tablo 3.1’de verilmiştir.

Tablo 3.1: Agregaların ait fiziksel özellikleri.

Fiziksel özellik	Agrega grubu	Deney sonucu
Tane Yoğunluğu (g/cm ³)	0-4	2,65
	0-4 (GYFC)	2,46
	4-11,2	2,72
Su Emme Oranı (%)	0-4	2,31
	0-4 (GYFC)	2,54
	4-11,2	0,8

Tablo 3.2: Beton karışımları için agregaların elek analizi sonuçları.

Elek (mm)	Geçen (%)		
	Kum	Kırmataş	GYFC
31,5	100	100	100
16	100	94	100
8	100	66	100
4	100	12	95,13
2	93,44	6,6	63,13
1	74,28	4,6	46,42
0,5	44,83	3,9	27,46
0,25	22,06	1,8	18,5
0,125	6,11	-	11
0,063	0,56	-	1

Malzemelerin özelliklerini araştırmanın nihai hedeflerinden biri, belirli bir mukavemet ve işlenebilirlik için uygun bir karışım tasarlamaktır. Bu karışım sırasında düzgün dizayn edilmiş bir beton karışımında kullanılan agregalar beton maliyetini düşürmektedir. Beton karışımlarında kullanılan agregalar Şekil 3.1’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1: Karışımında kullanılan iri agreg ve ince agreg.

3.1.2 Çimento

Çalışmada yapılan deneylerde Bartın çimento sanayi ve ticaret A.Ş.çimento fabrikasında temin edilen TS EN 197-1'e uygun CEM I 42,5 R çimentosu kullanılmıştır (TS EN 197-1, 2002). Erken kalıp alınması gerektiği durumlarda kullanılması uygundur.

Çimentoların hepsi aynı gün laboratuvara getirilmiş olup, çimento istifleme ve saklama şartları göz önüne alınarak muhafaza edilmiştir. Üretici firmadan kullanılan çimentolara ait alınan özellikler Tablo 3.3 ve Tablo 3.4'te verilmiştir.

Tablo 3.3: Çimentonun fiziksel ve kimyasal özellikleri.

Kimyasal Bileşim Bileşenler (%)		Fiziksel Özellikler	
SiO ₂	18,80	Özgül Ağırlık (g/cm ³)	3,1
Al ₂ O ₃	5,29	Özgül Yüzey (cm ² /g)	4271
Fe ₂ O ₃	2,89	0.090 mm Elek Kalıntısı (%)	0,2
CaO	62,82	0.045 mm Elek Kalıntısı (%)	4,7
MgO	2,44	Su/Çimento Oranı (%)	28,80
SO ₃	3,29	Priz Başlama Süresi (dk)	172
Na ₂ O + 0,658 K ₂ O	1,21	Priz Sona Erme Süresi (dk)	235
CI	0,076	Genleşme (Le Chatelier) (mm)	1,0

Tablo 3.4: Çimentonun mekanik özellikleri.

Basınç Dayanımı (MPa)	
2 Gün	36,3
7 Gün	44,9
28 Gün	54,2

3.1.3 Yüksek Performanslı Süperakışkanlaştırıcı Kullanımı

Bu ürün BASF Türk Kimya San. Ve Tic. Ltd. Şti. firmasında özellikle KYB’de kullanılan su azaltıcı süper akışkanlaştırıcı katkı malzemesidir. Beton katkı maddesi yüksek performanslı bir katkı malzemesi olmasından dolayı şantiye ve/veya santralde kullanım oranları çok iyi ayarlanmalı, özellikle karışım suyunun beton karışımına fazla katılmasından kaçınılmalıdır. Bu kimyasal katkıların teknik özellikleri Tablo 3.5’te gösterilmiştir.

Tablo 3.5: Polikarboksilat esaslı akışkanlaştırıcı katkı teknik özellikleri.

Malzemenin Yapısı	Polikarboksilik Eter Esaslı
Görünümü	Kahverengi - Sıvı
Özgül ağırlık (20°C’de)	1.069 – 1.109 kg/l
Klor iyon içeriği (%)	≤ 0.10 (Kütlece)
Alkali içeriği (%)	≤ 3.00 (Kütlece)
pH değeri	5-7

3.1.4 Karışım Suyu

KYB karışımlarında TS EN 1008’e uygun olan karışım suyu kullanılmalıdır. Karışım suyu olarak Bartın şehir şebeke suyu (pH değeri 7) kullanılmıştır. Şebeke suyu, sabit sıcaklıklı olmasına dikkat edilmiş ve karışım hesabındaki miktarlar doğrultusunda kullanılmıştır.

3.1.5 Granüle Yüksek Fırın Cürufu

Yapılan çalışmada GYFC, KYB üretiminde çimento ve çimento miktarını azaltarak, azaltılan miktar kadar ince taneli mineral katkı ilave edilerek karışım numuneleri oluşturulmuştur. En fazla kendini birleştirme yeteneğine sahip olacak şekilde tasarlanmalıdır. Taze betonun kendi kendine sıkışabilmesi esas olarak engellerden geçme yeteneğine bağlıdır. Kendi kendine sıkıştırılabilirliği sağlamak için bazı noktalara dikkat edilmeli: Sınırlı agrega içeriği, düşük su-toz oranı, süperakışkanlaştırıcı kullanımı. Klasik

kendiliğinden yerleşen beton ile yeni beton arasındaki farklar belirlenmektedir. Böylelikle üstün performans özellikleri belirli hale gelmektedir. Karışım da kullanılan agrega boyutunda GYFC Şekil 3.2’de, kimyasal özellikleri Tablo 3.6’da gösterilmiştir.

Tablo 3.6: GYFC kimyasal özellikleri.

İçerik (%)	GYFC
SiO ₂	35,1
Al ₂ O ₃	17,5
CaO	37,8
MgO	5,5
MnO	0,8
Na ₂ O	0,3
S	0,6
TiO ₂	0,6
Fe	0,7
P ₂ O ₃	0,3

KYB karışımlarında üç malzeme parametresi dikkate alınarak çalışma yürümektedir; ince malzemeler, agrega ve katkı maddeleri. İnce malzeme akışkanlığının su-ince malzeme oranının etkisini ve çimento hamurunun akışının hareketini göstermektedir.



Şekil 3.2: Karışım da kullanılan granüle yüksek fırın cürufu.

3.1.6 Uçucu Kül

KYB'nin hamur miktarını attırmak için mineral katkı maddesi olarak UK kullanılmıştır. Kullanılan UK, Zonguldak Eren Termik Santrali'nden temin edilmiş olup özgül ağırlığı ise $2,3 \text{ g/cm}^3$ 'tür. Bu değerler tedarikçi firmadan alınmıştır. Beton karışımlarda kullanılan UK Şekil 3.3'te ve kimyasal özellikleri Tablo 3.7'de gösterilmiştir.

Tablo 3.7: Uçucu kül kimyasal özellikleri.

İçerik (%)	Uçucu kül
SiO ₂	56,3
Al ₂ O ₃	26,2
Fe ₂ O ₃	6,1
CaO	2,1
MgO	2,4
Na ₂ O	1,1
K ₂ O	3,7
SO ₃	0,1
Cl	0,1

Beton karışımlarında kullanılan UK'lar, SiO₂+Al₂O₃+Fe₂O₃ yüzdesi %70'den fazla olduğu ve CaO yüzdesi %10'un altında olduğu için düşük kireçli UK (F sınıfı) adlandırılan küller olduğu belirtilmiştir.



Şekil 3.3: Karışımda kullanılan uçucu kül.

3.2 Yöntem

Çalışmada karışımlar kum yerine GYFC agregası %25 atış ile ikame edilmiştir. Beton üretiminde her karışım oranında kimyasal katkı maddesi, çimento ağırlığınca katılarak KYB üretilmiştir. Her karışımdan 15×15×15 cm küp numuneler ve ϕ 15×30 cm silindir numune boyutlarında 7, 28 ve 90 günlerde test edilecek numune üretilmiştir.

3.2.1 Agreganın Tane Dağılımı

Agregalar karışıma doğal halleri ile değil belli tane sınıflarına (0-4 mm ve 4-11,2 mm) ayrılmış olarak katılmıştır. En uygun karışım olarak ince agregada %40 ve iri agregada %60 karışım oranları seçilmiştir. KYB'nin akış davranışında ve karışımın homojenliğini korumasında kullanılan agreganın miktarı ve tane dağılımı çok önemlidir.

KYB karışımlarında agregada olarak Bartın'dan temin edilen kalker kökenli ince agregada 0-4 mm ve iri kırmataş agregada 11,2 mm boyutlarında kullanılmıştır.

3.2.2 Beton Karışımların Hazırlanması

Beton karışım hesabında çimento, UK, karma suyu, hava miktarı, s/ç oranı 0,45 sabit olarak seçilmiştir. Bu oran aynı zamanda referans beton olarak alınmıştır.

Malzemelerin özelliklerini araştırmanın en önemli amaçlarından biri; Belli bir güç ve işlenebilirlik için uygun bir karışımı tasarlamaktır. Bu araştırma, GYFC agregasının doğal kum yerine betonda kullanıma olasılığını araştırmayı amaçlamaktadır. GYFC agregalarının yararlanılması, örnek olarak; inşaat ortamında, yol kaplama gibi GYFC agregasının kullanımının teşvik edilmesini sağlamak ve doğal kum ihtiyacını azaltarak çevresel yarar sağlamaktır. Agregada boyutunda GYFC ile %0'dan %75'e kadar değiştirilmiştir. Taze beton deneyleri ve sertleşmiş beton deneyleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bununla birlikte ekonomik çalışma, agregada boyutunda GYFC'nun en uygun yüzdesini ortaya koymak için de yapılmıştır. Çalışmada agregada boyutunda GYFC, agregada, çimento, katkı ve UK ile üretilen beton grupları oluşturulmuştur. Karışım hesapları yapılırken de TS 802 standardı göz önünde bulundurulmuştur. Bu standarda göre betonun oluşturan bileşenlerin hacimlerinin toplamı 1000 dm³'e eşit olmaktadır.

$$W + \frac{W_c}{\gamma_c} + \frac{W_a}{\gamma_a} + \frac{W_{uk}}{\gamma_{uk}} + \frac{W_{sa}}{\gamma_{sa}} + H = 1000 \text{ dm}^3 \quad (1)$$

Eşitlik 1 formülünde; W suyun hacmi, W_c çimentonun kütlesi, W_a agreganın kütlesi, W_{uk} UK kütlesi, W_{sa} akışkanlaştırıcının kütlesi, γ_c çimentonun özgül ağırlığını, γ_a agreganın özgül ağırlığını, γ_{uk} UK özgül ağırlığını, γ_{sa} akışkanlaştırıcının özgül ağırlığını ve H ise toplam hava miktarını göstermektedir. Bütün ağırlıkların kg, hacimlerin ise dm^3 cinsinden göz önünde bulundurulmuştur.

Bütün karışımlarda çimento dozajı 400 kg/m^3 , UK 100 kg/m^3 ve su miktarı 180 kg/m^3 olarak sabit alınmıştır. Yeni nesil süperakışkanlaştırıcının ise ön denemelerden sonra bağlayıcı (çimento+UK) ağırlığının %1,5 ve %0,9 oranında olması kararlaştırılmıştır. Bu oran üretici firmanın bu katkı için önerdiği üst sınırın altında kalmaktadır. Belirlenen bu değerlerden sonra s/b oranı 0,36 olarak bulunmuştur. Hesaplarda hava hacmi ise $10 \text{ dm}^3/\text{m}^3$ alınmıştır.

Beton karışım hesabında esas olarak sabit su, s/ç ve s/b üretimi gerçekleştirilmiştir. 1 m^3 beton için gerekli karışım Tablo 3.8’de gösterilmektedir.

Tablo 3.8: 1 m^3 betona giren malzeme miktarı.

Karışım Kodu	Çimento (kg)	Uçucu Kül (kg)	Su (kg)	İnce agregat (kg)	İri agregat (kg)	GYFC agregat (kg)	Süper akışkanlaştırıcı	S/Ç
M1	400	100	180	683,5	1025,2	-	1,5	0,45
M2	400	100	180	512,6	1025,2	107,8	1,5	0,45
M3	400	100	180	341,7	1025,2	341,7	1,5	0,45
M4	400	100	180	107,8	1025,2	512,6	0,9	0,45

3.2.3 Beton Üretimi

Gerçekleştirilen çalışmada, beton üretimi 50 litre hacimli betoniye kullanımı ile gerçekleştirilmiştir. Betoniyerde gerçekleştirilen karışımlar hazır olan kalıplara kürek

aracılığıyla yapılmıştır. Farklı oranlarda gerçekleştirilen karışımlara su katılması başlangıç anı olarak kabul edilmiştir.

Betonyer içerisine öncelikle tartılmış olan agregalar (0-4 mm, 4-11,2 mm) katılmıştır ve karıştırılmıştır. Sonrasında çimento ve UK eklenmiştir. Kuru karışım birlikte karıştırılmıştır. Sonra su, betonyer çalışır halde iken kuru karışıma ilave edilmiştir. Son olarak akışkanlaştırıcı katkı karışıma eklenmiştir. Karıştırma süresi 3 dakikanın altında olmamasına dikkat edilmiştir. Karıştırma tamamlandığında betonyer içerisinde taze beton alınarak beton deneyleri yapılmıştır.

Yapılan her üretim aşamasında üçer defa 30 dm³'lük karışımlar hazırlanmıştır. İlk karışım aşamasında, çökme-yayılma ve V-hunisi deneyi yapılmıştır. İkinci karışım ise J-halkası ve taze betonda birim ağırlık deneyi yapılmıştır. Son karışım aşamasında da kılcallık ve reoloji deneyleri gerçekleştirilmiştir.

3.3 Taze Beton Deneyleri

KYB'nin taze özelliklerini belirlemek için gerekli test metotları geliştirilmiştir. Kendiliğinden yerleşen betonların taze beton özelliklerini incelemek için aşağıdaki deneyler uygulanmıştır.

3.3.1 Taze Birim Ağırlık Deneyi

Agregaların taneler arasındaki boşluklar da dâhil birim hacminin ağırlığıdır. Taze betonun birim ağırlığının bulunması hacmi belli olan ağırlık kabından yararlanılmıştır. Bu kabın içerisine taze beton konulmuş ve tartılmıştır. Kabın darası bu ağırlıktan düşürülerek betonun ağırlığı bulunmuştur. Bulunan ağırlık kabın hacmine bölünerek birim ağırlık hesap edilmiştir.

Karışımlarda oluşturulan betonların gerçek bileşimlerini hesaplamak için taze beton üzerinden birim ağırlık deneyleri yapılmıştır. Birim ağırlık, farklı malzemelerle yapılmış beton için yaklaşık hava içeriğinin bir göstergesidir. Kalıp numuneler (Şekil 3.4) içine taze beton yerleştirilerek tartılmıştır.



Şekil 3.4: Taze birim ağırlık deneyi.

3.3.2 Çökme-Yayılma Deneyi

Geleneksel beton için kullanılan çökme testinden esinlenerek geliştirilmiştir. Kesik koni kaldırıldıktan sonra beton her doğrultuda yayılma göstermektedir. KYB’de koni, betonla doldurulduğunda sıkıştırma gerektirmez. Deneyin uygulanması oldukça basit olup, şantiyede uygulanabilmektedir. Şantiyede göreceli olarak tıkanma riski hakkında bilgi edinilmese de segregasyon hakkında gözlem yapılabilmektedir.

Çökme-yayılma testi, engellerin yokluğunda KYB’nin deforme olabilirliğini değerlendirmek için kullanılır. Bu test üç farklı yönü ölçer: doldurma kabiliyeti, viskozite ve direnç segregasyon KYB’nin doldurma kabiliyetini yatay akışın ölçülmesiyle değerlendirilir. Çökme akış değeri ne kadar büyük olursa, KYB karışımının doldurma kapasitesi o kadar büyük olur.

EN 206-12 ile KYB’ler için sınıflandırmalar getirilmiştir. Bu sınıflandırmalar Tablo 3.9 ve Tablo 3.10’da gösterilmiştir.

Tablo 3.9: KYB’ler için çökme-yayılma sınıflandırılması.

Sınıf	Çökme-yayılma (mm)
SF1	550-650
SF2	660-750
SF3	760-850

Beton, ancak kayma eşiği aşıldığında hareket etmeye ve çökmeye başlamaktadır. Çökme-yayılma deneyi taze betonun kayma eşiği ile bağlantılı olmaktadır.

Tablo 3.10: KYB’ler için T_{500} sınıflandırılması.

Sınıf	T_{500} (s)
VS1	<2
VS2	≥ 2

Yayılmanın sonunda yatay ve dikey çaplarının ortalaması alınarak kaydedilir ve akış yayılma çapı hesaplanmış olmaktadır (Şekil 3.5). 500 mm’lik yayılma çapına ulaşma süresi hesaplanmıştır.



Şekil 3.5: Çökme-yayılma deneyi.

3.3.3 V-Hunisi Deneyi

KYB'nin taze beton özellikleri (viskozite ve doldurma) kabiliyetini göstermek için kullanılmaktadır. Yapım aşaması kolay olan bu deney Şekil 3.6'teki gibi V-huni ile yapılmaktadır. V-hunisi 12 litre hacimli bir kap olup 0,1 saniye hassasiyetli bir kronometre ile ölçüm yapılmaktadır. V-hunisinde hiçbir sıkıştırma işlemi yapılmadan doldurulur.

Huni içerisine hazırlanan beton doldurulur, doldurma işlemi bittikten sonra alt uça bulunan kapak çevrilerek akışın başlatılması sağlanır. Üst kısımdan bakıldığında alt uçtaki açılmış olan kısma bakıldığında, ışık geçmeye başladığı andaki geçen süre kaydedilmiştir. Bu sürenin EFNARC'da (EFNARC, 2005) 8-25 saniye arasında olması gerektiği belirtilmektedir.

EN 206-12 taslağında V hunisi için de sınıflandırma getirmiştir. Belirtilen bu sınıflandırmalar Tablo 3.11'de gösterilmiştir.

Tablo 3.11: KYB'ler için V-hunisi sınıflandırılması.

Sınıf	V-hunisi akma süresi (s)
VF1	<9
VF2	9-25

Yapılan karışım oranları ile oluşturulan betonun dar kesitten geçiş yeteneğini ölçmek için yapılmaktadır. Her karışım için uygulanmış olup akış süreleri belirlenmiştir. Tüm karışımlarda yapılan bu deney Şekil 3.6'de gösterilmiştir.



Şekil 3.6: V-hunisi deneyi.

3.3.4 J-Halkası Deneyi

Bu deney yöntemi KYB'nin taze beton özelliklerini (geçme yeteneğini) değerlendirmek için bir çökme testi deneyidir. J-halkası deneyi, KYB'nin geçiş yeterliliği, yayılma değeri ve T_{500} akış süresi ölçümünde kullanılmaktadır. J-halkası deneyi, KYB'nin donatı çubukları ve diğer engeller arasındaki dar açıklıklardan, ayrışma veya tıkanma olmaksızın akarak geçme yeterliliğinin değerlendirilmesi için kullanılır.

J-halkası, Abrams konisinin etrafını kuşatacak şekilde tasarlanmış olan halka engellerin içindeki boşluklar aracılığıyla geçme çökme testi aparatıdır (Şekil 3.7). 16 çelik çubuk (ϕ 16 mm), çelik dikdörtgen kesitli halka ile kullanılır ve 120 mm yüksekliktedir. İç kısmına Abrams konisi yerleştirilir ve çökmede yayılma deneyi gerçekleştirilir. Burada, yine betonun ilk 500 mm'lik çapa ulaşınca kadarki geçen süre (T_{500}) ölçülür.

Eşitlik 2'deki denklem kullanarak J-halkasının çelik çubuklarının içinde ve dışında beton yükseklikleri ölçülerek hesaplanır.

$$P_j = \frac{\Delta h_{x1} + \Delta h_{x2} + \Delta h_{y1} + \Delta h_{y2}}{4} - \Delta h_0 \quad (2)$$

Δh_0 akış merkezinde yükseklik ölçümüdür ve Δh_{x1} , Δh_{x2} , Δh_{y1} , Δh_{y2} , J-halkası hemen dışındaki konumlarda dört nokta ölçümü yüksekliğidir.

EN 206-12 taslağı J-halkası deneyi içinde sınıflandırma getirmiştir. Bu sınıflandırmalar Tablo 3.12’de gösterilmiştir.

Tablo 3.12: KYB’ler için J-halkası sınıflandırılması.

Sınıf	J-halkası
PJ1	≤ 10 ve 12 çubuk donatı
PJ2	≤ 10 ve 16 çubuk donatı

J-halkası deneyi, betonun akması durduktan sonra taze beton çevresinin görsel olarak incelenmesi KYB karışımlarında ayrılmaya karşı direncini gösterebilir.



Şekil 3.7: J-halkası deneyi.

3.3.5 Reoloji Deneyi

Reoloji deneyi için betonu tutmak için ölçekli kap, elektrik motoru ve tork sayacı, kabın tepesine takmak için bir çerçeve, test sırasında torku kaydetmek ve akış eğrisi parametrelerini hesaplamak için bir bilgisayar bulunmaktadır. Konteynır, test sırasında betonun konteynır duvarı boyunca kaymasını önlemek için çevre boyunca bir dizi dikey

ubuk içerir. Kabin boyutu ve kanat aftının uzunluğu, agreganın nominal maksimum boyutuna göre seçilir. Kanat apı ve yüksekliliği 127 mm'dir.

ICAR Plus Rheometer yazılımı: sürücüyü çalıştırır, torku kaydeder, test sonuçlarını hesaplar ve verileri depolama yapmaktadır. Testin tamamı, tek bir ekrandan kontrol edilebilmektedir.

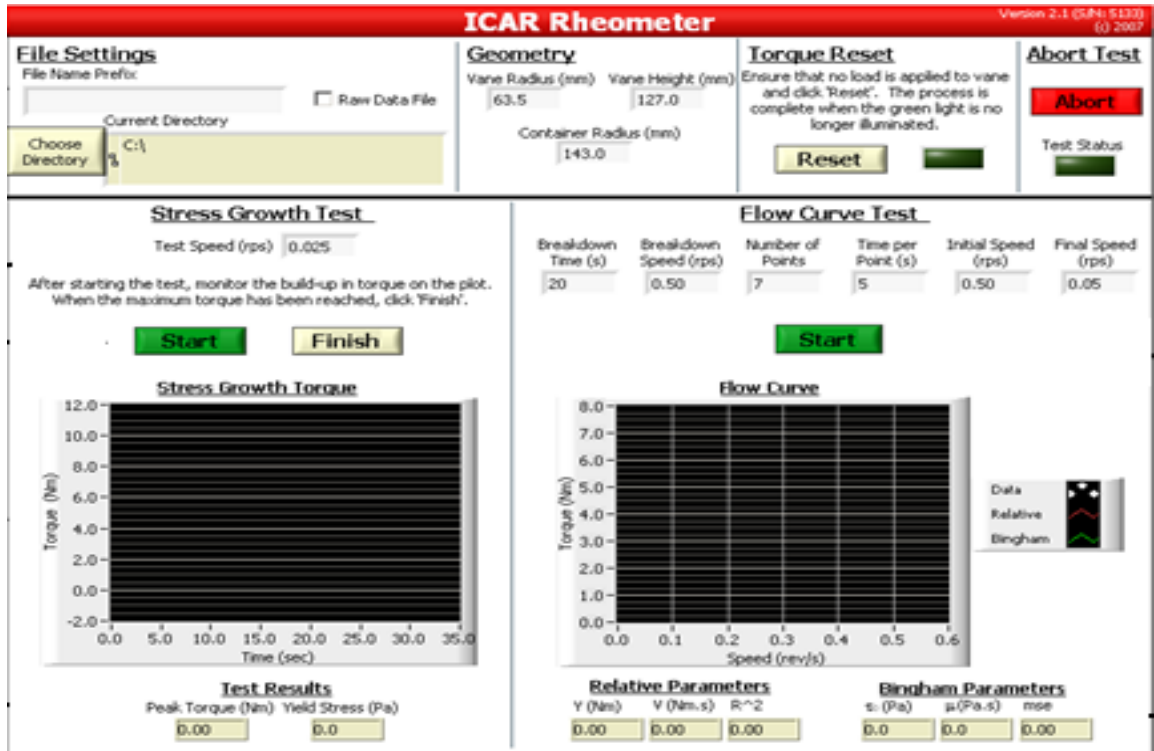
Taze beton karışımını hazırlayan kişi test geometrisini tanımlar ve akış eğrisi testini çalıştırmak için test parametreleri sağlar. İki tip test yapılır. İlk tip, kanadın 0.025 dev/s sabit yavaş bir hızla döndürüldüğü bir gerilme büyüme testidir. İlk tork artışı zamanın bir fonksiyonu olarak lr. Bu test sırasında ölçülen maksimum tork, statik akma gerilmesinin hesaplanmasında kullanılır. Diğer test tipi, dinamik verim gerginliğini ve plastik viskoziteyi belirlemek için bir akış eğrisi testidir. Kanat hızı, kullanıcı tarafından seçilen, ancak en az altı adım tavsiye edilen belirli sayıda adımda azaltılır. Her adımda, kanat hızı sabit tutulur ve ortalama hız ve tork kaydedilir. Kanadın dönüş hızına karşı tork grafiği, Bingham parametrelerinin hesaplandığı akış eğrisini tanımlar.

Bu çalışmada kullanılan deneysel ölçüm yapımı şekil 3.8'de gösterilmiştir. Hızlı ve kısa bir hız artışı sabit bir hız takip eder, ardından dönüş hızı yavaşlar. Bu ilk adım, statik verim gerilmesinin, betonun başlangıç durumunun karakteristik olduğu tahmin edilmesine izin verir, daha sonra dönme hızı yavaşlarken sabit bir duruma ulaşmak için hızlı bir şekilde yapısını bozar. Son bölüm akış eğrisini çizmek için kullanılır.



Şekil 3.8: Reoloji deneyi.

Oluşan veriler Şekil 3.9'daki ekranda kaydedilir. Hızdaki hızlı artışla, sabit dönme hızına ulaşmadan önce pratikte maksimum tork elde edilir. Tork, sabit faz sırasında önemli ölçüde azalır, daha sonra düşüş daha düzenli olur. Testin sonunda, kanat dururken torkta hızlı bir düşüş olduğu not edilir. Son olarak, tork testin sonunda sıfıra geri dönmeyebilir. Reoloji verilerin girilmesi ve karışım sonrası sonuçların alındığı ICAR Rheometer Şekil 3.9'da gösterilmiştir.



Şekil 3.9: ICAR Rheometer ekranı.

3.4 Sertleşmiş Beton Deneyleri

KYB'nin sertleşmiş özelliklerini belirlemek için test metotları geliştirilmiştir. KYB'nin sertleşmiş beton özelliklerini incelemek için aşağıdaki deneyler uygulanır.

3.4.1 Sertleşmiş Birim Ağırlık Deneyi

Sertleşmiş betonun birim ağırlığının bulunmasında hacmi belli olan birim ağırlık kabından yararlanılmıştır. Bu kabın içerisine beton konulmuş ve tartılmıştır. 24 saat sonra kalıptan çıkarılan numune tartılarak betonun ağırlığı bulunmuştur (Şekil 3.10). Bulunan ağırlık kabın hacmine bölünerek birim ağırlık değeri hesap edilmiştir.



Şekil 3.10: Sertleşmiş birim ağırlıkları ölçülmüş numuneler.

3.4.2 Basınç Dayanımı Deneyi

Basınç dayanımı testi düşey yönde sabit bir hızla yüklenerek deforme edilir. Numunelerin dayanım değerleri bulunması için öncelikle cihaza yerleştirilecek yer temizlenir ve numune yerleştirilir. Cihazın yükleme hızı ayarlanarak test başlatılmış olur. Basınç dayanımı testi için üretilen numuneler kırıldığında yük değeri kaydedilir ve numunenin alanına bölünerek sonuç değeri elde edilmiş olur.

Yapılacak olan basınç dayanım deneyi öncesi numuneler 1 saat kürden çıkarılıp oda sıcaklığında bekletilerek kurutulmuşlardır. Basınç deney numunelerini kırmak için TS-EN 12390-4'e (TS EN 12390-4, 2002) uygun ve kalibre edilmiş bir basınç cihazı kullanılmıştır. Deney numunelerini Şekil 3.11'de ki cihaz kullanılmıştır. 15×15×15 cm boyutlu küp deney numuneleri ve ϕ 15×30 cm silindir deney numuneleri kullanılmıştır. 7, 28 ve 90. günlerden sonra basınç testi uygulanacak olan silindir numunelere başlık yapılmıştır. Numunelerin ağırlığı ve yüksekliği ölçülüp kaydedilmiştir. Her karışım grubundan 9 adet küp, yük uygulama yönü beton döküm yönüne dik olacak şekilde iki yan yüzü kullanılarak, 3 adet silindir, yük uygulama yönü beton döküm yönünde olacak şekilde TS EN 12390-3'e (TS EN 12390-3, 2003) uygun olarak 0,6 MPa/s yükleme hızında kırılmış ve sonuçları kaydedilmiştir.



Şekil 3.11: Basınç dayanımı ölçme cihazı.

3.4.3 Schmidt Deneyi

Schmidt çekici öncelikle betonların yüzey sertliğini ve dolayısıyla da betonun basınç dayanımını tahmin etmek için geliştirilmiştir.

Schmidt test çekici deneyi okumaları TS EN 12504-2'ye (TS EN 12504-2, 2004) uygun olarak yapılmıştır. Hazırlanan silindir numunelerde üst yüzey ve alt yüzeyde olmak üzere toplam 24 adet deney noktasına döküm yönünde ve düşey olarak Schmidt test çekici

uygulanmış ve sonuçları kaydedilmiştir. Küp numuneler için ise dört yan yüzeyine 36 adet döküm yönüne dik, düşey ve alt yüzeyinde 9 adet döküm yönünde, düşey olmak üzere toplam 45 adet Schmidt test çekici uygulanmış ve sonuçları kaydedilmiştir.

Schmidt çekici deneyi hem arazide hem de laboratuvarda yapılabilmektedir ( ekil 3.12). Bu deney laboratuvarda yapılan deneylerden bahsedilecektir. Laboratuvarda sertlik ölçümleri k p numuneleri üzerinde gerçekleştirilmektedir.

Schmidt sertlik indeksi deneyi, laboratuvar ortamına oluşturulan küp numunelerin referans ve GYFC agregalarının değişken oranları üzerinde uygulanmıştır.



Şekil 3.12: Schmidt  ekici.

3.4.4 Kılcallık Deneyi

Betonun ge irirmlili i hakkında bilgi elde etmek için yapılan testtir. Betonun sahip olduğu kılcallık katsayısı ne kadar düşükse o kadar geçirimsiz olduğunu gösterir. Beton içinde boşluklar kılcal borular  ebekesini oluştururlar. Bu boşlukların boyutları 0,1 μ -2,5 mm arasında de i irler. İçinde bu tip boşluklar bulunan bir cismin yüzeyi su ile temas edecek olursa, suyun yüzey gerilimi sebebiyle su cisim üzerinde yükselmeye ba lar ve bu olaya kılcallık (kapilerite) adı verilir.

Çimento hamuru ve betondaki çatlak ve boşluklar; çoğunlukla beton teknolojisi ve kurallarına uyulmaması sonucu, yetersiz sıkıştırma, yetersiz kür, kimyasal reaksiyona girmeyen fazla suyun terleme, buharlaşma olayları veya katkı maddeleri eklenmesi gibi nedenlerle oluşur (Baradan vd., 2002).

Betonda kılcallık deneyi 15×15×15 cm boyutlu küp numuneler üzerinden yapılmıştır. TS EN 12390-2 göre hazırlanan numuneler 7, 28 ve 90 gün kür edildikten sonra 105 °C’de kurutularak içerisindeki nem tamamen yok edildikten sonra oda sıcaklığında soğumaya bırakılmıştır. Küp numuneler su tabanından 5 mm yukarıda olacak şekilde ayarlanmıştır (Şekil 3.13). Deney boyunca bu su seviyesi sürekli takip edilerek değişmemesi sağlanmıştır. Numune 0, 5, 10, 20, 30, 60, 180, 360 ve 1440. dakikalarda tartılarak 24 saat deney sürdürülmüştür. Numuneler belli süreler sonunda çıkartılmış ve nemli yüzeyleri bir bezle hafifçe silindikten sonra 0,01 hassasiyetli terazide tartılmıştır. Numunelerin kapiler su emme katsayıları $\frac{Q}{A} = k\sqrt{t}$ denklemi ile hesaplanmıştır. Burada “Q” absorbe olan su miktarı (cm³), “A” suya temas eden yüzeyin alanı (cm²), “k” kapiler su emme katsayısı (cm/s^{1/2}) ve “t” zaman (s) anlamına gelmektedir (Gönen vd., 2007).



Şekil 3.13: Kılcallık deneyi.

3.4.5 Ultrases Deneyi

Sertleşmiş betonun mikro yapısının yoğunluğunu incelemek için uygulanan ultrases deneyinin temel prensibi betonun bir ucundan gönderilen ultrases dalgalarının diğer uca

varma süresini ölçerek yoğunluğu hakkında fikir sahibi olmaktır. Ultrases hızının yüksek olması betonun boşluklu bir yapıya sahip olduğunu gösterir çünkü ses dalgaları boşlukta daha hızlı ilerleyerek diğer uca varır.

Ultrases geçiş hızı ölçümü, üretilen numuneler yere temas eden yüzeylerine dik doğrultuda yapılmış ve ultrases geçiş süresi, mikro saniye cinsinden ölçülmüştür. Ultrasonik ses hızı deneyi TS EN 12504-4'e (TS EN 12504-4, 2004) uygun olarak yapılmıştır. Karışım numunelerinde kullanılan cihaz Şekil 3.14'te gösterilmiştir. Silindir numunelerde alt ve üst yüzeyde 12 noktada, deney noktası olarak belirlenmiştir. Benzer şekilde küp numunelerin üst ve alt yüzeyi hariç diğer yüzeyler de hazırlanarak, her yüzde 9 noktada belirlenmiştir. Numunenin alıcı ve verici elemanlarına temas etmesi için ultrason jeli sürülmüştür. Cihazın göstergesinden okunan dalgaların yayılma süreleri Eşitlik 3'te belirtildiği şekilde numunenin boyutuna bölünerek her numune için yayılma hızı tespit edilmiştir. Bu çalışmada numuneler üzerinde yapılan ölçümlerde S dalgaları ölçülememiştir (Eşitlik 4).

$$V_p = L/t_p \quad (3)$$

$$V_s = L/t_s \quad (4)$$

Burada;

V_p = P Dalga hızı (km/s)

V_s = S Dalga hızı (km/s)

L = Ses üstü dalga yüzey arasındaki mesafe (km)

t_s = S Dalgası yayılma süresi (s)

t_p = P Dalgası yayılma süresi (s)



Şekil 3.14: Ultrases hızı ölçme aleti.

3.4.6 Elastisite Modülü Deneyi

Betonun basınç dayanımı ve elastisite modülü zamanla devamlı bir artış gösterdiği bilinmektedir. Basınç dayanımın da yıllarca süren artış, elastisite modülünde 90 günde en büyük değerini almaktadır.

Elastisite modülü, kesin olmasa da, basınç dayanımının artmasıyla artmaktadır. Fakat elastisite modülündeki artış basınç dayanımındaki artıştan küçük olmaktadır (Neville, 1996).

Başlıkları yapılan silindir numunelerin gerilme-deformasyon diyagramları yardımıyla elastisite modülleri (Sekant yöntemi ve çerçeve) hesaplanmıştır.

Basınç değerinin maksimum yüküne yakın 20 kN'da bir okuma yapılmıştır. İşlenen noktalardan uygun doğru geçirilmiştir. Doğrunun eğimi hesaplanarak numunenin elastisite modülü olarak kaydedilmiştir. Beton numuneleri 7 günlük elastisite modülü sekant yöntemi (Şekil 3.15) ile hesaplanmıştır. 28 ve 90 günlük numuneler elastisite modülü çerçeve yöntemi (Şekil 3.16) ile hesaplanmıştır.

7 günlük numuneler için öncelikle basınç dayanımı ile elastisite modülü ölçülmüştür. Öncelikle numuneleri düz bir zemine koyduktan sonra beton numuneleri üzerine

deformasyon ölçer sabitlenir. Üzerine geçirilen çerçevenin alt ve üst kısmında bulunan ve birbirini tutan çubuklar çıkarılır. Numuneler deney cihazına düşey şekilde yerleştirilir. Beton numune üzerinde ki çerçevede bulunan deformasyon göstergesi sıfırlanır. Deney testi başlanılmadan önce deney cihazının yükleme hızı ayarı yapılmıştır. Göstergeden 20 kN'da bir deformasyon değerleri kaydedildi. Maksimum yüke yaklaşıldığında deney durdurulur ve numune üzerinde ki çerçeve sökülerek deney sonlandırılır. Yük değerleri okunan numunelerinin yüzey alanına bölünerek gerilmeye çevrilir. Çerçevenin alt ve üst parçaları arasında ki mesafe deformasyonda okunan değerlere bölünerek birim şekil değiştirme bulunur. Gerilme-birim şekil değiştirme grafiğine işlenir ve lineer doğru çizilmektedir. Çizilen doğrunun eğimi hesaplanmaktadır ve 20 katı yuvarlanılarak numunelerin elastisite modülü kaydedilmiş olur.



Şekil 3.15: 7 günlük elastisite modülü deneyi.

Silindir numuneler 28 ve 90 günlerde çerçeve yöntemi ile gerilme-şekil değıştirme grafiğinden yararlanılarak elastisite modülü değerlerine ulaşılmıştır.



Şekil 3.16: 28 ve 90 günlük elastisite modülü deneyi.

BÖLÜM 4

BULGULAR VE TARTIŞMA

Farklı GYFC agrega oranı, aynı s/ç oranına sahip betonların taze KYB karışımları ile 7, 28 ve 90 günlük küp ve silindir numuneler üzerinde gerçekleştirilen deneysel çalışmalar sonunda ulaşılan sonuçlar aşağıda sunulmuştur (Tablo 4.1).

Tablo 4.1: Taze beton deneyleri ve sertleşmiş beton deneyleri.

Taze Beton Deneyleri	Sertleşmiş Beton Deneyleri
Çökme-yayılma deneyi	Basınç dayanımı
T ₅₀₀ süresi deneyi	Kılcallık deneyi
Taze birim ağırlık deneyi	Schmidt çekici deneyi
V-hunisi akış deneyi	Ultras ses deneyi
J-halkası deneyi	Elastisite modülü
Reoloji deneyi	Sertleşmiş birim ağırlık deneyi

4.1 Taze Beton Deney Sonuçları

Farklı karışım oranları ile oluşturulan taze beton üzerinde, birim ağırlık, çökme-yayılma, V-hunisi, J-halkası ve elastisite modülü deneyleri yapılmıştır. Tüm karışım serilerine bu deneyler uygulanmış olup aralarında karşılaştırma yapılmıştır.

4.1.1 Taze Birim Ağırlık Sonuçları

KYB'lerin birim ağırlık deneyinden elde edilen sonuçlara göre Tablo 4.2 incelendiğinde agrega boyutunda GYFC karışımlarda en yüksek birim ağırlığa 2385 kg/m³ değeriyle M1 beton karışımı sahip olduğu, bunu M2'li karışımların izlediği geriye kalan karışımlarda ise birim ağırlıkta azalan değerlere sahip olduğu görülmektedir. Farklı oranlarda agrega boyutunda GYFC olanların en düşük birim ağırlık değeri ise M4 karışımlarda görülmüştür.

Agrega boyutunda GYFC ilavesi oldukça taze birim ağırlıkta da azalma olduğu görülmüştür. Bunun sebebi ise agrega boyutunda GYFC'nun yoğunluğu karışımda kullanılan kumun yoğunluğundan daha az olmasıdır.

Tablo 4.2: Taze betonun birim ağırlık sonuçları.

Karışım Kodu	Birim Ağırlık (kg/m ³)
M1	2385
M2	2370
M3	2350
M4	2333

Beton karışımlarında su ve toz malzeme oranı kadar agrega türünün de taze beton birim ağırlık üzerinde önemli bir etkisi vardır. Bunun nedeni ise agregaların kendi birim ağırlıklarının farklı olmasından dolayıdır.

4.1.2 Çökme-Yayılma Sonuçları

Agrega boyutunda GYFC oranına göre yayılma miktarlarını gösteren Tablo 4.3 incelendiğinde her agrega boyutunda GYFC oranı ve yayılma miktarları arasında doğrusallık saptanamamıştır.

Tablo 4.3: Yayılma mesafesi.

Numune Kodu	Yayılma mesafesi (cm)
M1	61
M2	74
M3	69
M4	64

En yüksek yayılma karışımlar içinde M2'de elde edilmiştir. Agrega boyutunda GYFC M2'den sonra oran arttığında yayılma miktarında azalma olmuştur. %75'e çıkan agrega

boyutunda GYFC referans betona daha yakın seviyeye gelmiştir. Uygun miktarda kimyasal katkı dozajı kullanılarak, akış kontrol edilebilir. M2 yayılma miktarında ciddi bir oranda artış gözlemlenmiştir. Yapılan deneyler sonunda 80 cm'den az yayılma olduğu için sınırlar içerisinde kalmıştır. İki karışım (M2–M3) agrega boyutunda GYFC, diğerlerinin yayılma çapının KYB Kılavuzunda (Anon., 2007)'de verilen SF2 sınıfına (66-75 cm) girdiği görülmektedir. Bu sınıftaki betonların pek çok uygulama (örneğin kolonlar ve duvarlar) için uygun olacağı belirtilmektedir. M1 ve M4 karışımları ise SF1 sınıfına (55-65 cm) girmektedir. Bu sınıftaki betonlar ise serbest yer değiştirmeye çok az donatılı beton yapıları (örneğin konut döşemeleri), uzun yatay akışları engelleyecek kadar küçük kesitler (örneğin kazıklar ve bazı derin temeller) gibi uygulamalar için kullanılabilir (Anon., 2007).

4.1.3 T₅₀₀ Süresi Sonuçları

Üretilen KYB'de çökme-yayılma deneyinde ölçülen T₅₀₀ süresi viskozite hakkında yorum yapabilmeyi sağlamaktadır. Agrega boyutunda GYFC oranı ile T₅₀₀ süreleri Tablo 4.4'te incelendiğinde her agrega boyutunda GYFC için T₅₀₀ süresinin referans karışımına göre düştüğü yani akışın hızlandığı görülmüştür. Agrega boyutunda GYFC içeren karışımlarda ise 500 mm'lik yayılma çapına en erken ulaşan karışım 2,2 s ile M2 karışım betonu olmuştur. M2 karışımından sonra M3 ve M4'te T₅₀₀ süresinde artış olmuştur ama artış referans süresinden azdır. Agrega boyutunda GYFC kullanımında T₅₀₀ süresi M4 karışımı kullanıldığında agrega boyutunda GYFC içerikli karışım referans karışımına daha yakın bir değer elde edilmiştir. KYB'de kullanılan agrega boyutunda GYFC T₅₀₀ süresi düşük olup akışın hızlandıran özellik göstermektedir. Yapılan tüm karışımların T₅₀₀ akma süreleri 2 ile 5 saniye arasında kaldığından viskozitelerinin ayırışma oluşturmayacak kadar yüksek olup, yayılabilecek kadar düşük olduğu söylenebilmektedir. Tablo 4.4'te görüldüğü gibi, bütün beton karışımlarında ölçülen T₅₀₀ süresi 2 saniyenin üzerindedirler. Kendiliğinden Yerleşen Beton Kılavuzu bu süreye sahip betonları VS2 sınıfında değerlendirmektedir. KYB'lerin yayılma sürelerinin agrega yoğunluğuna bağlı olarak değişmekte olduğu ve yoğunluğu yüksek agregalarla üretilen KYB'lerin T₅₀₀ yüksek olduğu görülmektedir. Beton karışımlarındaki akış agrega boyutu GYFC %25'lik ikamesi sonuçları değişiklik göstermektedir. Yüksek yüzdeler için akış belli ölçüde azalır. Uygun kimyasal katkı dozajı kullanılarak, akış süresi kontrol edilebilir. Agrega boyutunda GYFC, beton üretimi için doğal kuma alternatif olarak kullanılabilceği açıktır.

Tablo 4.4: T₅₀₀ süresi.

Numune Kodu	T ₅₀₀ süresi (s)
M1	3,1
M2	2,2
M3	2,6
M4	2,9

4.1.4 V-Hunisi Akış Süresi Sonuçları

Yapılan bu deney karışımı ile viskozitesi hakkında yorum yapmayı sağlamaktadır. Akma süresi değeri Tablo 4.5 incelendiğinde M2'den M4'e kadar artıp referans beton seviyesine yaklaşmıştır. Referans betona göre agrega boyutunda GYFC kullanımı akma süresini T₅₀₀ ölçümündeki gibi M4 karışım oranında az miktarda, M3 karışım oranında belirgin miktarda azalmıştır, M2 karışım oranında ise ciddi miktarda azalmıştır. Referans betonuna göre azalan bu süre betonun daha akışkan olduğunu göstermektedir.

Tablo 4.5: V-hunisi akma süreleri.

Karışım Kodu	V-hunisi (s)
M1	16
M2	8,85
M3	9,56
M4	13,5

KYB karışımlarının V-hunisi deney sonuçları incelendiğinde, karışıma agrega boyutunda GYFC miktarı ilave edilmesi referans betona göre V-hunisi değerlerinin düştüğü, dolayısı ile akışkanlığın yani işlenebilmenin arttığı göstermektedir. Bu sonuçların çökme-yayılma deneyi sonuçları ile de benzerlik olduğu gözükmemektedir.

4.1.5 J-Halkası Sonuçları

Agrega boyutunda GYFC oranına göre çökme-yayılma ve J-halkası miktarları incelendiğinde her agreg a boyutunda GYFC oranı arttığında doğrusallık yoktur. Yapılan deney sonuçları Tablo 4.6’te gösterilmiştir. Yapılan J-halkası testleri, çökme-yayılma testleri ile kıyaslandığında yayılma miktarlarında daha az yayılma gerçekleştiği gözük m ektedir. Maksimum yayılma, çökme-yayılmada ki gibi M2’lik karışımdan elde edilmiştir. M4 karışımı referans betona daha yakın seviyededir. M2’lik karışıma bakıldığında çökme-yayılmada ki gibi ciddi bir oran artışı J-halkası deneyinde de gözlemlenmiştir.

Tablo 4.6: J-halkası yayılma ve T₅₀₀ süresi.

Karışım Kodu	Yayılma (cm)	T ₅₀₀ süresi (s)
M1	60	4,2
M2	72	2,7
M3	67	3,3
M4	61	4

Çökme-yayılma deney sonucunda ki gibi her agreg a boyutunda GYFC için T₅₀₀ süresinin referans karışımına göre düşük oranda düştüğü yani akışın hızlandığı görülmüştür. Agreg a boyutunda GYFC karışımlarında ise 500 mm’lik yayılma çapına en erken ulaşan karışım 2,7 s ile M2 karışımı olmuştur. T₅₀₀ süresindeki bu azalma agreg a boyutunda GYFC kullanımında M2 karışımı sık donatılı yerlerden normal betona göre daha hızlı gerçekleştiğini göstermektedir. M2’lik karışımdan sonra T₅₀₀ süresinde ki artış olmuştur ama bu artış referans süresinden kısadır.

Tablo 4.7: J-halkası PJ sonucu.

Karışım Kodu	PJ (mm)
M1	24
M2	13
M3	19
M4	28

Tablo 4.7 incelendiğinde hazırlanan KYB karışımlarının PJ değerleri en fazla yayılma gösteren M2 karışımı en az PJ değerine sahiptir. M2 ve M3 karışımları 20 mm altında olduğu için PJ1 sınıfına, M1 ve M4 karışımları 20 mm üzerinde olduğundan PJ2 sınıfıdır.

4.1.6 Reoloji Deney Sonuçları

Reolojik sonuçlardan elde edilen veriler agrega boyutunda GYFC kullanımı KYB'nin normal betona göre daha iyi bir performansa sahip olduğunu görülmüştür. Kendiliğinden yerleşebilirlik için kayma eşiği olabildiğince sıfıra yakın olması amaçlanmaktadır. Deney sonuçları Tablo 4.8'de gösterilmiştir.

Tablo 4.8: Reoloji deneyi sonuçları.

Numune Kodu	Sıcaklık (°C)	Plastik Viskozite (Pa.s)	Kayma Eşiği (Pa)
M1	20	131	54
M2	22	93,7	37
M3	21	107,6	38
M4	21	117	46

Yüksek plastik viskoziteye sahip M1 karışımı akıcıdır ama hareketi yavaştır. M2 karışımı, diğer karışımlara göre plastik viskozitesi düşük olduğundan daha akıcıdır.

Taze harcın çökme-yayılma deneyinde, harcın yayılmasının durduğu anda kayma gerilmeleri ile kayma eşiği eşit olduğu kabul edilmektedir. M1 karışımı kayma eşiği yüksek olması taze harcın akabilme yeteneğinin diğer karışımlara göre düşük olduğunu gösterirken; M2 karışımı kayma eşiği düşük olması harcın akma yeteneği diğer karışımlara göre arttırdığını göstermektedir. Kayma eşiği etkileyen en önemli faktörlerden birisi, agregalar arasında oluşan iç sürtünmedir. Agregalar arası iç sürtünmenin artması betonun kayma eşiği de artmasını göstermektedir.

Çökme-yayılma testi ile ölçülen yayılma çapının kayma eşiği ile ilişkili olduğunu göstermiştir. V-huni testi ile ölçülen karışımın akış zamanının plastik viskozite ile doğru orantılı olduğunu görülmüştür.

4.2 Sertleşmiş Beton Deney Sonuçları

Beton özelliklerini ve performansını değerlendirmek için gerekli testler yapılmıştır. Her bir üretimden 15 cm çapında, 30 cm yüksekliğinde silindir beton numuneleri, 15×15×15 cm'lik numuneler oluşturulmuştur. Karışım sonrasında numunelere konulan betonlar bir gün sonra kalıptan alınarak 23±2 °C'lik su havuzunda, oda sıcaklığında 7, 28 ve 90 gün bekletildi ve öngörülen deneyler gerçekleştirildi.

4.2.1 Sertleşmiş Birim Ağırlık Sonuçları

Başlangıçtaki beton içerik bileşenlerinin, karışım oranlarının, su içeriğinin, hava içeriğinin, hacim değişikliklerinin bir fonksiyonudur. Karışım oranlarındaki değişiklikler, tasarlanmış birim ağırlıkta ve ölçülen birim ağırlıkta az değişiklik olabilir.

Tablo 4.9 incelendiğinde her bir numune ortalamaları alınarak bir değerlendirme yapıldığında M2 olan karışım 2355 kg/m³, M3 olan karışım 2340 kg/m³, M4 olan karışım 2324 kg/m³ ve referans karışımın 2371 kg/m³ değerlerine sahip oldukları görülmüştür. Görüldüğü gibi en yüksek birim ağırlık değeri M1 karışımlarda, en düşük birim ağırlık değeri ise M4 karışımlarda elde edilmiştir.

Agrega türünün değişmesi ile betonların birim ağırlıklarında görülen değişimler agregaların özgül ağırlıkları ilişkilidir.

Tablo 4.9: Sertleşmiş betonun birim ağırlık sonuçları.

Karışım Kodu	Birim Ağırlık (kg/m ³)
M1	2371
M2	2355
M3	2340
M4	2324

4.2.2 Basınç Dayanım Sonuçları

Karışımların basınç dayanımını gösteren 7, 28 ve 90 günlük Tablo 4.10'a bakıldığında basınç dayanımı yapılan deneyler içerisindeki düzenli değişimi gösteren deneylerden biridir. İnce agregaya ile değiştirilen %25'lik agregaya boyutunda GYFC ilave edildikçe doğrusala yakın bir şekilde azaldığı görülmektedir. Karışımların günlerine bakıldığında artış gösterdiği, agregaya boyutunda GYFC oranı ilave miktarı arttıkça da azalma olduğu görülmüştür. Basınç dayanımı referans betona en yakın M2'dir, en az dayanım ise M4'te görülmektedir. Bu değişimler 7, 28 ve 90 günlükler için aynıdır. M3 ve M4 karışımlarda 28 ve 90 günlükte çok yakın değerler aldığı görülmüştür. Agregaya boyutunda GYFC oranının artması başlangıç olarak az, gün geçtikçe daha fazla dayanım göstermiştir.

Tablo 4.10: Basınç dayanım deney sonuçları.

Numune Kodu	M1			M2			M3			M4		
	7	28	90	7	28	90	7	28	90	7	28	90
Ortalama Küp Basınç Mukavemeti (MPa)	58,2	59,7	63,4	52,2	54,6	58,7	44,5	49,1	55,9	37,9	47,2	55
Ortalama Silindir Basınç Mukavemeti (MPa)	42,1	44,7	48,5	39,6	43,8	47	37,5	42,9	45,2	32,6	42,1	45

GYFC agregaya içerikli numuneler kendi aralarında değerlendirildiklerinde, en fazla basınç dayanımı M2 ile üretilen seridedir; en düşük dayanım ise M4 ile üretilen serilerdedir. Bu kullanımda gerçekleşen agregaların dayanımların en etkili faktörü agregaların dayanımları

etkili olması konusunda fikir vermektedir. Agreganın dayanımı harcın dayanımından yüksek olduğundan, beton üzerine gelen yük harçlardan agregalara taşınmaktadır.

4.2.3 Schmidt Deney Sonuçları

24 saat etüvden çıkarılmasıyla yapılan Schmidt çekici sonuçları Tablo 4.11’de gösterilmiştir. Basınç dayanımı ile paralellik olduğu gözlenmiştir. Schmidt çekici sonucu en yüksek değeri M1 karışımında ulaşmıştır. 90 gün sonucu bakıldığında her karışımında artış olduğu, karışım oranı arttıkça azaldığı görülmektedir.

Tablo 4.11: Schmidt çekici ile yüzey sertlik ölçüm sonuçları.

Numune Kodu	M1			M2			M3			M4		
	7	28	90	7	28	90	7	28	90	7	28	90
Ortalama Schmidt sertlik indeksi	50	55	60	45	51	55	40	46	51	36	46	50

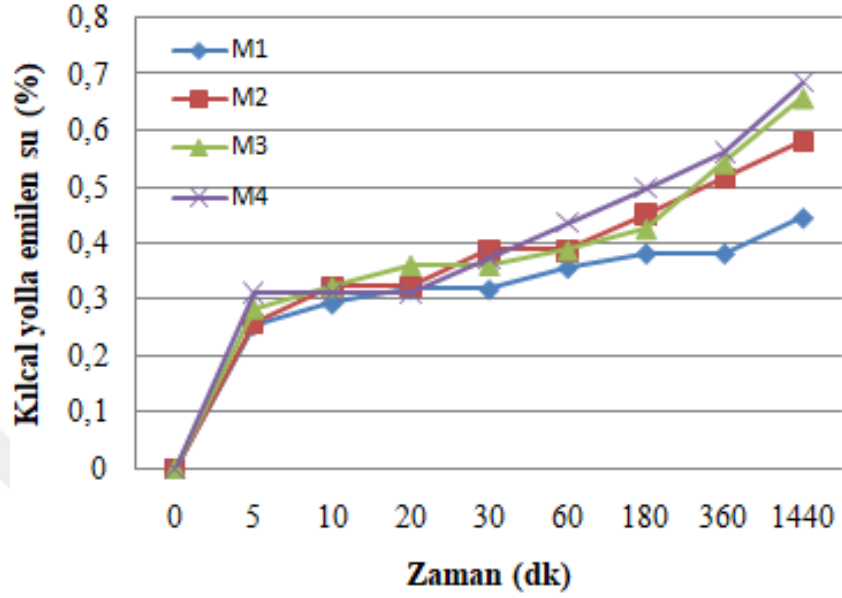
4.2.4 Kılcallık Deney Sonuçları

Beton numuneleri üzerinde yapılan deney Tablo 4.12’de gösterilmiştir. 7, 28 ve 90 günlük numuneler için ayrı ayrı kılcal yolla emilen su yüzdeleri hesaplanmıştır. Bu değerlerden yola çıkılarak numunelerin boşluk oranları bulunmuştur. GYFC agregası ilave edildikçe boşluk miktarı arttığı ve referans betonunun ise boşluk miktarının en az olduğu görülmektedir.

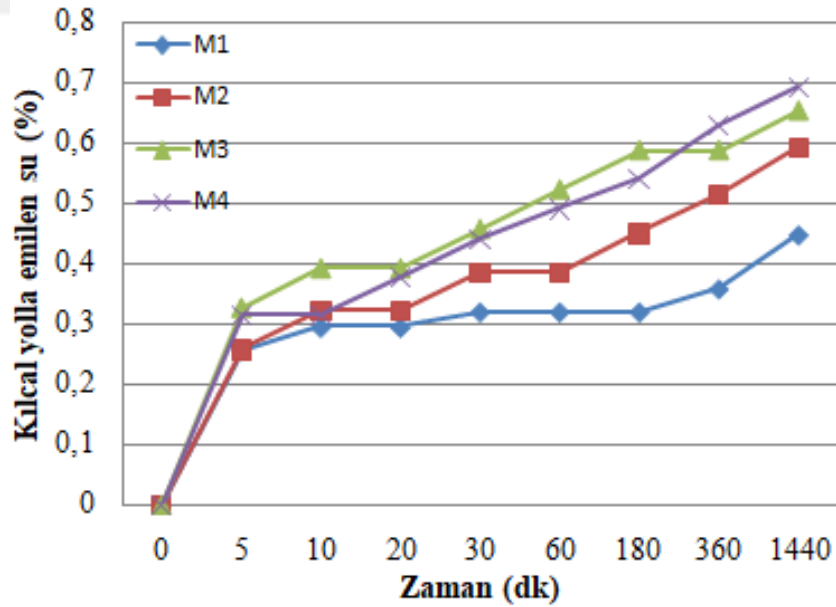
Tablo 4.12: 24 saatlik kılcal su emme deneyi sonuçları.

Numune Kodu	M1			M2			M3			M4		
	7	28	90	7	28	90	7	28	90	7	28	90
Kapilarite Katsayıları (cm/s ^{1/2})x10 ⁻⁷	2,82	2,8	2,05	4,84	4,63	4,03	5,95	5,72	5,05	6,91	6,16	5,72

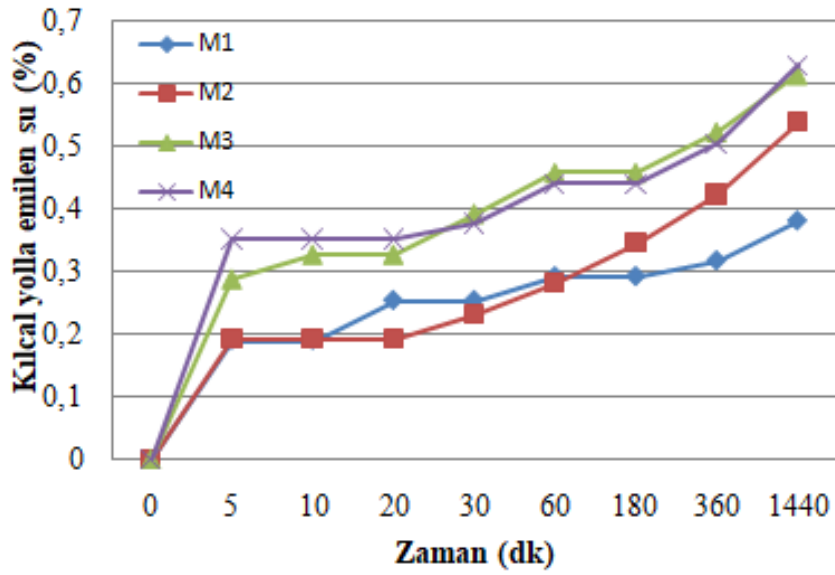
Karışım yaşlarına bakıldığında gün geçtikçe kılcallık katsayılarının azaldığı görülmüştür. Karışımlar içerisinde M4 karışımı 7 günlük numunelerin daha fazla kılcallık katsayısına sahip olduğu görülmüştür.



Şekil 4.1: 7 günlük kılcallık atış yüzdesi-zaman grafiği.



Şekil 4.2: 28 günlük kılcallık atış yüzdesi-zaman grafiği.



Şekil 4.3: 90 günlük kılcallık atış yüzdesi-zaman grafiği.

4.2.5 Ultrases Deney Sonuçları

Ultrases geçiş hızı deneyi, referans numuneler ve %25'lik artan GYFC agrega içeren numuneler üzerinde yapılmıştır. Yapılan deneyler Tablo 4.13'te gösterilmiştir. GYFC agregası içermeyen ve GYFC agregası içeren diğer numuneler arasında karşılaştırma yapıldığında yoğun bir yapı içerisinde olan M1 numunesinde boşluk daha az olacağından ultrases cihazının bir ucundan çıkan ses dalgalarının diğer uca ulaşma süresi uzar böylelikle dalga hızı azalmaktadır. Numunelerde ki hızında oluşan artışlar mikroyapısının yoğunlaştığını göstermektedir.

Tablo 4.13: Ultrases geçiş hızı deneyi sonuçları.

Numune Kodu	M1			M2			M3			M4		
	7	28	90	7	28	90	7	28	90	7	28	90
Ultrases Dalga Hızı (km/s)	5,06	5,06	5,09	4,86	4,97	5,01	4,75	4,75	4,81	4,61	4,68	4,76

Bütün numuneler 7, 28 ve 90 gün standart su küründe bekletilmiştir. Yapılan deney sonuçlarında beton basınç dayanım aralığı 32 ile 65 MPa arasında değişmekte olup ultrasonik hızları 4,6 ile 5,1 km/s arasında değişmektedir.

Karışımların ultrases dalga hızlarının gösterildiği Tablo 4.13 incelendiğinde M4 agreg boyutunda GYFC kullanımının ultrases dalga hızında düşüş olduğu görülmektedir ancak M2 agreg boyutunda GYFC oranında referans betona daha yakın hız değerleri elde edilmiştir. Ultrases hızı 7, 28 ve 90 günlükler ölçüldüğünde M1 betonu, M2, M3 ve M4'te genel de artış olduğu ancak agreg boyutunda GYFC oranı arttıkça azaldığı görülmüştür. Sebebi beton içerisinde boşluk miktarının artmasından kaynaklandığından olabilir. Yoğunluğu fazla olan betonların dayanımları da yüksek olmaktadır. Dolayısıyla ultrases dalgaları daha yoğun beton içerisinde daha hızlı geçmektedir.

4.2.6 Elastisite Modülü Deney Sonuçları

KYB'de elastisite modülü değerleri, basınç dayanımı için geleneksel betonlardan elde edilen sonuçlara göre daha düşük değerler almaktadır. Sebebi ise, KYB'de harç fazının agreg fazından daha fazla olmasıdır. Geleneksel betonlarda, harç fazı agreg fazından daha az olduğunda betonun elastisite modülünü attırmaktadır. Beton numuneleri üzerinde yapılan deney Tablo 4.14'de gösterilmiştir.

Tablo 4.14: Elastisite modülü deneyi sonuçları.

Numune Kodu	M1			M2			M3			M4		
	7	28	90	7	28	90	7	28	90	7	28	90
Elastisite Modülü (GPa)	30,3	31,3	33	27,5	29,8	32,8	22,7	23,2	30,6	22,6	22,9	30

KYB'lerin elastisite modülü değerleri agreg boyutunda GYFC oranının artmasıyla birlikte azaldığı gözlenmiştir. GYFC oranı betonun basınç dayanımını düşürdüğü gibi elastisite modülünün de azalmasına neden olmuştur. GYFC oranı arttıkça beton içerisindeki kapiler boşluk oranı artmakta, buna bağlı olarak betonun en yüksek gerilme değeri azalmakta ve gerilmelere karşılık gelen birim deformasyonlar da artmaktadır.

Elastisite modülü üzerinde farklı agreg kullanımının etkisine bakıldığında, dayanımına etki eden faktörlerden agreg dayanımı ve agreg yüzey yapıları gibi etkiler oluşturulan

GYFC agregası ilaveli KYB'lerin elastisite modüllerinin referans yani GYFC agregası içermeyen betonlarınkinden daha düşük çıktığı görülmüştür.



BÖLÜM 5

SONUÇ VE ÖNERİLER

- Agregada boyutunda GYFC miktarı arttıkça basınç dayanımı ve Schmidt değerlerinin azaldığı belirlenmiştir. Bunun nedeni, karışımdaki agregada boyutunda GYFC ilavesinin artması daha fazla boşlukların oluşturduğu olarak yorumlanabilir.
- En yüksek çökme-yayılma değerinin M2 karışımında, cüruf agregası içerikli en düşük değerinin M4 karışımına ait olduğu saptanmıştır. Agregada boyutunda GYFC eklenmiş karışımlarda belli miktarda kullanılması geleneksel betondan daha iyi sonuçlar verecektir.
- Agregada boyutunda GYFC içeren betonun işlenmesinde büyük zorluk yoktur. Belli miktarda GYFC ile betonun taze veya sertleşmiş özelliklerinde büyük bir değişiklik olmamıştır. GYFC agregası ebadı doğal kum agregalarına benzemektedir. GYFC bir yan üründür ve betonda agregada olarak kullanılabilir. GYFC malzemeleri ülkemizde bol miktarda bulunmaktadır. Bu nedenle belli miktarda agregada boyutunda GYFC beton üretilmesi ekonomik olarak büyük katkı sağlayacaktır.
- Ultrases geçiş hızlarında düzensiz olduğu ama küçük değişimler gözlemlenmiştir. GYFC ilavesi mikro yapısında belirgin bir bozulma veya iyileşmeye neden olmadığını göstermektedir.
- GYFC agregalarının emme kapasitesi kumunkinden daha fazladır. Agregada boyutunda GYFC ikamesi arttıkça kılcallık katsayısı azaldığı gözükmemektedir. Karışımda azalması boşluklu ve fazla su emdiğini göstermektedir. GYFC ilavesi arttığında betonun dayanıklılığını azalttığını göstermektedir.
- GYFC bir yan üründür ve betonda agregada olarak kullanılması, yerel bölgede ekonomik ve çevre dostu bir çözüm olabilmektedir. Böylece, gelecekteki agregalar için uygun alternatifler bulmak daha önemli hale gelmiş olacaktır. Sonuçlar incelendiğinde doğal agregalara benzer özelliklere sahip olduğunu ve betona dâhil edilmesi halinde herhangi bir zarar vermeyeceğini göstermiştir.
- KYB'nin taze özellikleri olan doldurma yeteneği, geçiş kabiliyeti ve ayrışma direnci belli miktarda GYFC kullanılması karışımlar da daha iyi yerine getirmiştir. Yapılan deneyler birlikte uygun tasarım ve diğer proje faktörlerinin teknik olarak ilgili bilgilerle uygulandığında ayrıntılı olarak ele alındığı durumlarda GYFC'lu malzemelerinin betona

dâhil edilmesini uygunluğunu, GYFC’lu malzemelerinin faydalı özelliklerini kullanarak karmaşık proje sorunlarında kullanılabileceği gözükmektedir.



KAYNAKLAR

- Abdalhmid, J.M., Ashour, A.F. ve Sheehan, T. (2019). Long-term drying shrinkage of self-compacting concrete: *Experimental and analytical investigations. Construction and Building Materials Volume 202*, 30 March 2019, Pages 825-837.
- Abdulaziz, I., Al-Negheismish, F.H., Al-Sugair, and Rajeh, Z.A. (1996). Utilization of Local Steelmaking Slag in Concrete, *J. King Saud Univ.*, Vol. 9, Eng. Sci. (1), pp 39-55.
- ACI Committee 226. (1994). Ground Granulated Blast-Furnace Slag as a Constituent in Concrete. ACI Manual of Concrete Practice, Part 1, pp.226. IR-1 to 226 IR-15.
- Aggarwal, V. (2010). Concrete Durability Through High Volume Fly ash Concrete. *International Journal of Engineering Science and Technology Vol. 2(9)*, 2010, 4473-4477.
- Alizadeh, R., Raki, L., Makar, J., Beaudoin, J. ve Moudrakovski, I. (2009). Hidration of tricalcium silicate in the presence of synthetic calcium silicate hydrate. *Journal of Materials Chemistry (7937-7946)*, 19.
- Altoubat, S., Junaid, M.T., Leblouba, M. ve Badran, D. (2018). Effectiveness of fly ash on the restrained shrinkage cracking resistance of self-compacting concrete. *Cement and Concrete Composites Volume 79*, May 2017, Pages 9-20
- Anon. (2006). Betonda mucizevî çözümler: Kendiliğinden Yerleşen Betonlar. *Hazır Beton Dergisi*, sayı:74, 20-36.
- Anon. (2007). Kendiliğinden Yerleşen Beton Kılavuzu. *Türkiye Hazır Beton Birliği yayını*, 63, Türkiye.
- ASTM Standard C-33. (2003). Specification for Concrete Aggregates, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ASTM C 618. (2000). Standart Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Concrete, Annual Book of ASTM Standart, No. 04.02.
- Atahan, H.N., Taşdemir, M.A. ve Oktar, O.N. (2003). Yüksek Dayanımlı Betonlarda Çimento Hamurunun Boşluk Yapısının Beton Özelliklerine Etkisi, *İTÜ Dergisi*, Cilt: 2, Sayı: 1, Sayfa: 23-34.
- Audebaert, K., Boel, V. ve Schutter, G.D. (2002). Durability of Self-Compacting Concrete, *First North American Conference on the Desing and Use of Self-Consolidating Concrete*, 377-383.

- Babu, J.S. ve Mahendran, N. (2014). Experimental Studies on Concrete Replacing Fine Aggregate with Blast Furnace Slags, *International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT)* .Volume 10Number 8–Apr.
- Banfill, P.F.G. (1991). Rheology of Fresh Cement and Concrete. E.&F.N. Spon Publisher, p.373, London.
- Banfill, P.F.G. (2003). The Rheology of Fresh Cement and Concrete - A Review. 11th *International Cement Chemistry Congress*, p. 13, Durban.
- Baradan, B., Yazıcı, H. ve Ün, H. (2002). Betonarme Yapılarda Kalıcılık (durabilite), Dokuz Eylül Üniversitesi, *Mühendislik Fakültesi Yayınları*, İzmir, no:298.
- Barnes, H. A. (2000). A Handbook of Elementary Rheology, Institute of NonNewtonian Fluid Mechanics, *University of Wales*, p. 1.
- Bartos, P. (1992). Fresh Concrete: Properties and tests, *Elsevier Science Publishers*, Amsterdam, Netherlands.
- Bartos, P.J.M. (2005). Testing – SCC: Towards New European Standards For Fresh SCC, *First International Symposium on Design, Performance and Use of Self Consolidating Concrete SCC*, China, 26–28 May 2005, Changsha, Hunan, China.
- Bayomy, F. ve Wahhab, A. (1988). H. Utilization of Hadeed Slag in Pavement Construction in Saudi Arabia. *IRF 88 Conference, Riyadh, Saudi Arabia*. Feb, 13-18.
- Baweja, D. ve Nelson, P. (1998). Supplementary Cementing Materials: Their Acceptance in Australian Specifications. *Paper presented at the Sixth CANMET/ACI International Conference on Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete*, Bangkok, Thailand.
- Benaicha, M., Alaoui, H. Jalbaud, O. ve Burtchell, Y. (2019). Dosage effect of superplasticizer on self-compacting concrete: correlation between rheology and strength. *Journal of Materials Research and Technology Volume 8*, Issue 2, April 2019, Pages 2063-2069.
- Bingöl, A.F. ve Tohumcu, İ. (2013). Effects of different curing regimes on the compressive strength properties of self compacting concrete incorporating fly ash and silica fume. *Materials & Design Volume 51*, October 2013, Pages 12-18October 2013, Pages 12-18.
- British Standards Institution. (2013). BS EN 12620:2013, Aggregates for concrete, BSI, London.
- Carette, G., Bilodeau, A., Chevrier, R.L. ve Malhotra, V.M. (1993). Mechanical Properties of Concrete Incorporating High Volumes of Fly Ash From Sources in the U.S. *International Concrete Abstracts Portal Volume 90*, Issue 6, Pages 535-544.

- Çalışkan, S., Türk, K. ve Yazıcıoğlu, S. (2006). Uçucu Küllü Kendiliğinden Sıkışan Betonun Mühendislik Özelliklerinin Farklı Kür Altında İncelenmesi. *Teknik Bülten*, 1, 17-22.
- Çankayalı, A., Gökçe, M. ve Levent, K. Y. (2009). Taze Beton Bünyesindeki İnce Malzeme Hamuru Reolojik Özelliklerinin İncelenmesi, *Yapılarda Kimyasal Katkılar 3. Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, 25-42.
- Devlet Planlama Teşkilatı (2000). Taş ve Toprağa Dayalı Ürünler Sanayi ÖİK Raporu, Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı. Ankara.
- Dowson, A.J. (2002). The Application, Self Compacting Concrete in Precast Products, *BIBM*, İstanbul.
- DRAFT pr EN 206-12- Concrete - Specification, performance, production and conformity.
- Durgun, M.Y. (2011). Pomza, Kulemanit, Barit ve Yüksek Fırın Cürufu Katkılı Boyalarla Kaplanan Beton ve Donatıların Korozyon Performansı, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Kahramanmaraş, 2-9 s.
- EFNARC (2002). Specifications and Guidelines for Self-Compacting Concrete, The European Federation of Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems.
- EFNARC (2005). Specifications and Guidelines for Self-Compacting Concrete, The European Federation of Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems. 9.
- Engin, Y. (2015). Betonda Uçucu Kül Kullanımı: Madalyonun Diğer Yüzü, <http://www.betonvecimento.com/beton-2/betonda-ucucu-kul-kullanimi> (27.11.2018).
- Erdoğan, M. (1993). İstanbul ve Dolayının Yapay Agrega Potansiyeli. 3. *Mühendislik Jeolojisi Sempozyumu*, Ç.Ü. Mühendislik Fakültesi, Adana.
- Erdoğan, T.Y. (1995). Öğütülmüş Granüle Yüksek Fırın Cürufu ve Kullanımı, *Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, Ankara, Türkiye.
- Erdoğan, T.Y. (1997). *Admixtures for Concrete*, Middle East Technical University Press, Ankara.
- Erdoğan, S.T. ve Erdoğan, T.Y. (2007). Puzolanik Mineral Katkılar ve Tarihi Geçmişler, 2. *Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyumu*, 271 s.
- Erdoğan, Ş., Kurbetci, Ş. ve Yıldız, A.R. (2005). Farklı Kür Gören Kendiliğinden Yerleşen Betonların Donma-Çözünme Sonrası Kapiler Su Emme ve Aşınma Dirençlerinin İncelenmesi. 6. *Ulusal Beton Kongresi Yüksek Performanslı Betonlar*. 16-17-18 Kasım 2005, İstanbul, ss. 349-359.

- Eren, Ö. ve Yılmaz, Z. (2004). Değişik sıcaklıklarda kür edilen salt portland çimentolu, yüksek fırın cürufu veya uçucu kül katkılı betonlarda dayanım gelişimi, *İMO Teknik Dergi*, 222, 3311–3322.
- Erzengin, S.G. (2015). Newtonyen Olmayan Akışkanların Reolojik Davranışları. Süleyman Demirel Üniversitesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Isparta.
- Felekoğlu, B. (2003). Kendiliğinden Yerleşen Betonun Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tez. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İzmir.
- Felekoğlu, B. (2004). Kendiliğinden Yerleşen Beton Potansiyel Avantaj ve Dezavantajları, *İMO İzmir Şubesi Haber Bülteni*, sayı:120, 32-36.
- Felekoğlu, B., Önal, O. ve Özden, G. (2005). Kendiliğinden Yerleşen Betonların Boşluk Yapısının Normal Betonla Karşılaştırılması. 6. *Ulusal Beton Kongresi Yüksek Performanslı Betonlar*. 16-17-18 Kasım 2005, İstanbul, ss. 147-156.
- Fraay, A.L.A., Bijen, J.M., De Haan, Y.M. (1989). The reaction of fly ash in concrete a critical examination. *Cement and Concrete Research*, Vol. 19, No. 2, pp. 235–246.
- Fujih T., Ayano T. ve Sakata K. (2007). Freezing and thawing resistance of Steel making slag Concrete, *Journal of Environmental Science for Sustainable Society*, vol. 1, 1-1, March.
- Gaddo, V. ve Pellegrino, C. (2009). *Cement and Concrete Composites* Volume 31, Issue 9, October 2009, Pages 663-671.
- Gödek, E., Felekoğlu, B. ve Felekoğlu, K.T. (2015). Hazır Beton Sektörüne Uygun Polikarboksilat Esaslı Süper Akışkanlaştırıcı Katkı Seçimi ve Kendiliğinden Yerleşen Beton Üretimindeki Performansı, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 15, 8-18.
- Gönen, T., Yazıcıoğlu, S. ve Demirel, B. (2007). Mineral katkıların donma-çözünme sonrası betonun bazı özelliklerine etkisi, *TÇMB 3. Uluslar arası Sempozyumu*, İstanbul, 757 – 767.
- Grünwald, S., Ferrara, L. ve Dehn. F. (2010). Production and Placement of Self-Consolidating Concrete. *Proceedings of SCC2010, Montreal, Canada*, September 26–29: 26-27
- Gündeşli, U. (2008). Uçucu Kül, Silis Dumanı ve Yüksek Fırın Cürufunun Beton ve Çimento Katkısı Olarak Kullanımı. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Adana.
- Güneyisi, E. ve Gesoğlu, M. (2007). Uçucu Kül ve Metakaolin İçeren Kendiliğinden Yerleşen Harçlar. 2. *Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyumu*, Ankara, 161-172.

- Güneyisi, E., Atewi, Y.R. ve Hasan, M.F. (2019). Fresh and rheological properties of glass fiber reinforced self-compacting concrete with nanosilica and fly ash Blended. *Construction and Building Materials Volume 211*, 30 June 2019, Pages 349-362.
- Hackley, V.A. ve Ferraris, C.F. (2001). The use of nomenclature in dispersion science and technology. *NIST recommended practice guide, special publication (960-3)*. Washington: National Institute of Standards and Technology. s. 72.
- Hama, S.M. ve Hilal, N.N. (2017). Fresh properties of self-compacting concrete with plastic waste as partial replacement of sand. *International Journal of Sustainable Built Environment Volume 6*, Issue 2, December 2017, Pages 299-308.
- Hiraskar, K.G. ve Patil, C. (2013). Use of Blast Furnace Slag Aggregate in Concrete. *International Journal Of Scientific & Engineering Research, Volume 4*, Issue 5, s 95.
- Huang, C.H., Lin, S.K., Chang, C.S. ve Chen, N.J. (2013). Mix proportions and mechanical properties of concrete containing very high-volume of Class F fly ash. *Construction and Building Materials Volume 46*, September 2013, Pages 71-78.
- Huang, F., Li, H., Yi, Z., Wang, Z. ve Xie, Y. (2018). The rheological properties of self-compacting concrete containing superplasticizer and air-entraining agent. *Construction and Building Materials Volume 166*, 30 March, Pages 833-838.
- Jadhav, P.A. ve Kulkarni, D.K. (2013). Effect of Replacement of Natural Sand By Manufactured Sand on the Properties of Cement Mortar, *International Journal of Advanced Engineering Technology, Vol. 3*, No 3.
- JIS A 5015 (2013). Japan Industrial Standard – Iron And Steel Slag For Road Construction, Japan Standards Association, Tokyo, Japan.
- Jiang, L.H. ve Malhotra, V.M. (2000). Reduction in water demand of non-air-entrained concrete incorporating large volumes of fly ash, *Cem Concr Res*, 30 (11), pp. 1785-1789.
- Kaya, A.O. (2010). Farklı Türde Mineral Katkı Kullanımının Kendiliğinden Yerleşen Betonun Taze Faz ve Mekanik Özelliklerine Etkisi. Yüksek Lisan Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, ss. 44-45.
- Khajuria, C. ve Siddique, R. (2014). Use Of Iron Slag As Partial Replacement Of Sand To Concrete, *Volume 3*, Issue 6, June 2014.
- Koehler, E.P., Brooks, W., Mogan, E. ve Neuwald, A. (2009). Application of Rheology Measurements to Enable and Ensure Concrete Performance, *Proceedings of the NRMCA Concrete Technology Forum*, Cincinnati, OH.

- Kumar, S.. D., Kumar, P., Rameshwar, S., Marutiram, K. ve Prasad, S.M.R. (2016). Converting Granulated Blast Furnace Slag into Fine Aggregate, *International Journal of Civil Engineering Research*. ISSN 2278-3652 Volume 7, Number 2, pp. 91-103.
- Leung, H.Y., Kim, J., Nadeem, C., Jaganathan, J. ve Anwar, M.P. (2016). Sorptivity of self-compacting concrete containing fly ash and silica fume. *Construction and Building Materials Volume 113*, 15 June 2016, Pages 369-375.
- Lin, C., Kayali, O., Morozov, E.V. ve Sharp, D.J. (2017). Development of self-compacting strain-hardening cementitious composites by varying fly ash content. *Construction and Building Materials Volume 149*, 15 September, Pages 103-110.
- Long, F. ve Martel, H. (1995). The Effect of Additions of Ultra-Fine Cement on The Strength Characteristics of Mortar, *ZKG*, No:12, pp 661-666.
- Lowke, D., Kränkel, T., Gehlen, C., ve Schießl, P. (2010). Effect of Cement on Superplasticizer Adsorption, Yield Stress, Thixotropy and Segregation Resistance, Design, *Production and Placement of Self-Consolidating Concrete. Proceedings of SCC2010*, Montreal, Canada, September 26–29, 2010. Rilem Bookseries Volume 1, pp 93.
- Malhotra, V. M. (1990). Durability of concrete incorporating high-volume of low-calcium (ASTM Class F) fly ash. *Cement and Concrete Composites Volume 12*, Issue 4, 1990, Pages 271-277.
- Mangat, P.S. ve Khatib, J.M. (1995). İnfluence of Fly Ash, Silica Fume and Slag on Sulfate Resistance of Concrete, *ACI Materials Journal*, pp 542-552.
- Manso, J. M., Gonzalez, J.J.ve Polanco J.A. (2004). Electric Arc Furnace Slag in Concrete. *Journal of Materials in Civil Engineering ASCE* Nov.
- Manso, J.M., Polanco, J.A., Losanez, M. and Gonzalez, J.J. (2006). Durability of Concrete made with EAF Slag as Aggregates, *Cement and Concrete Composite*.
- Massazza, F. (1989). Pozolanlar, Pozolanlı Çimentolar ve kullanım Alanları, *Semineri*, Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, 1- 165, Ankara.
- Matos, P.R., Foiato, M. ve Prudencio, L.R. (2019). Ecological, fresh state and long-term mechanical properties of high-volume fly ash high-performance self-compacting concrete. *Construction and Building Materials Volume 203*, 10 April 2019, Pages 282-293.
- Mohamed, H.A. (2011). Effect of fly ash and silica fume on compressive strength of self-compacting concrete under different curing conditions. *Ain Shams Engineering Journal Volume 2*, Issue 2, June 2011, Pages 79-86.
- Morrison, R.E. (1970). A Review of Ash Specifications. *Symposium on Fly Ash Utilization*, pp. 24-31. Pittsburgh.

- Nataraja, M.C., Kumar, D.P.G., Manu, A.S. ve Sanjay, M.C. (2013). Use Of Granulated Blast Furnace Slag As Fine Aggregate In Cement Mortar. *International Journal of Structural and Civil Engineering Research*. No.2, May.
- Nath, P. ve Sarker, P. (2011). Effect of Fly Ash on the Durability Properties of High Strength Concrete. *Procedia Engineering Volume 14*, 2011, Pages 1149-1156.
- Nergis, V. (2007). Yüksek Dayanımlı Betonlarda Durabilite ve İşlenebilirlik, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara 47 s.
- Neville, A.M. (1996). *Properties of Concrete* fifth edition. Library of Congress Cataloging-in-Publication Data .J. Wiley, New York.
- Okamura, H. (1997). Self Compacting High Performance Concrete, *Concrete International*, V.19, No:7, 50-54.
- Okamura, H.ve Ozawa, K. (1995). Mix-design for self-compacting concrete. Tokyo: *Concrete Library of JSCE*.
- Ozawa, K., Sakata, N. ve Okamura, H. (1995). Evaluation of Self Compactibility of Fresh Concrete Using the Funnel Test. *Concrete Library of JSCE*, Vol no. 25, pp. 59-75, June 1995.
- Öner, A. ve Yıldız, R. (2003). Betonun İç ve Dış Ortam Etkilerine Dayanıklılığı Üzerine Genel Bir Bakış, *Kocaeli Teknik Bülten*.
- Özel, C. (2007). Katkılı Betonların Reolojik Özelliklerinin Taze Beton Deney Yöntemlerine Göre Belirlenmesi, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta 55 s.
- Özışık, G. (1998). Beton İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul
- Özkul, H., Taşdemir, M. A., Tokyay, M. ve Uyan, M. (1999). Meslek Liseleri İçin Her Yönüyle Beton. *TÇMB*, Ankara.
- Özkul, M.H. (2002). Beton Teknolojisinde Bir Devrim: Kendiliğinden Yerleşen-Sıkışan Beton, 52, 64-71.
- Özkul, M.H. (2002). Beton Teknolojisinde Bir Devrim: Kendiliğinden Yerleşen Sıkışan Beton. *THBB Hazır Beton Dergisi*,(52), 64-71.
- Özkul, H., Taşdemir, M.A., Tokyay, M. ve Uyan, M. (2004). *Her Yönüyle Beton. Türkiye Hazır Beton Birliği*, İstanbul.
- Patel, J.P. (2008). Broader Use of Steel Slag Aggregates in Concrete. *ETD Archive*. Paper 401.
- Postacıoğlu B. (1981). Cisimlerin Yapısı ve Özellikleri, *İTÜ Matbaası*, İstanbul.

- Postacıoğlu, B. (1984). Beton Bileşiminin Saptanmasında Yeni Gelişmeleri, *İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Malzeme Seminerleri*, İstanbul.
- Quasrawi, H., Shalabi, F. ve Asi, I. (2009). Use of Low CaO Unprocessed Steel Slag In Concrete as Fine Aggregate, *Construction and Building Materials*.
- Rao, M.S. ve Bhandare, U. (2014). Application of Blast Furnace Slag Sand in Cement Concrete—A Case Study, *ISSN 2278-3652 Volume 5*, Number 4 (2014), pp. 453-458.
- Rashad, A.M. (2015). A Brief on high-volume Class F fly ash as cement replacement. *International Journal of Sustainable Built Environment Volume 4*, Issue 2, December 2015, Pages 278-306 December 2015, Pages 278-306.
- Reiner, M. (2007). Technology, environment, resource and policy assessment of sustainable concrete in urban infrastructure. Ph. D. Thesis, University of Colorado at Denver and Health Sciences Center, USA.
- Rols, S., Ambroise, J. ve Pera, J. (1999). Effects of Different Viscosity Agents on The Properties of Self-Leveling Concrete. *Cement and Concrete Research*, 29, 2, 261-266.
- Roussel, N. (2006). A Thixotropy model for fresh fluid concretes: Theory, validation and applications. *Cement and Concrete Research*, vol. 36, n. 10, pp. 1797–1806.
- Saak, A.W., Jennings, H.M. ve Shah, S.P. (2001). New Methodology for Designing Self-Compacting Concrete, *ACI Materials Journal*, vol. 98, pp. 429-439.
- Saf, M.O. (2015). Sentetik C-S-H Bileşiklerinin Kendiliğinden Yerleşen Betonların Taze ve Sertleşmiş Özelliklerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.25-28 s.
- Sağlam, R.A., Parlak, N., Doğan, A.Ü. ve Özkul, M.H. (2005). Kendiliğinden Yerleşen Betonda Çimento Katkı Uyumu, *6.Ulusan Beton Kongresi*, İTÜ, İstanbul, 16- 18 Kasım 2005, s. 213-224.
- Saha, A.K. (2018). Effect of class F fly ash on the durability properties of concrete. *Sustainable Environment Research Volume 28*, Issue 1, January, Pages 25-31.
- Sari, M., Prat, E. ve Labastire, J. (1999). High strength self-compacting concrete Original solutions associating organic and inorganic admixtures. *Cem. Concr. Res.*, Vol: 29.
- Schutter, G.D., Bartos, P.J.M., Domone, P. ve Gibbs, J. (2008). Self-Compacting Concrete, *Whittles Publishing*, Dunbeath, Scotland.
- Sezer, G.İ. ve Gülderen, M. (2015). Usage of steel slag in concrete as fine and/or coarse aggregate, *Indian Journal of Engineering and Materials Sciences Vol. 22*, pp 339-344.

- Shen, L., Struble, L. ve Lange, D. (2009). Modeling Dynamic Segregation Resistance of Self-Consolidating Concrete, *ACI Materials Journal*, vol. 106, pp. 375-380.
- Shen, X., Breugel, K.V., Ye, G. ve Yu, Z. (2017). Effect of fly ash on the pore structure of cement paste under a curing period of 3 years. *Construction and Building Materials Volume 144*, 30 July 2017, Pages 493-501 30 July 2017, Pages 493-501.
- Siddique, R. (2004). Performance characteristics of high-volume Class F fly ash concrete. *Cement and Concrete Research Volume 34*, Issue 3, March 2004, Pages 487-493.
- Skarendahl, A. ve Petersson, O. (2000). Self Compacting Concrete, *State-of-the- Art Report of RILEM Technical Committee 174-SCC*.
- Spellman, L.U. (1982). Granulated Blast-Furnace Slag as a Mineral Admixture. *Concrete International*, ACI, July, Pages 66-71.
- Stutterheim, N. (1969). Portland Blast-Furnace Cement - A Case for Separate Grinding of Slag. Proceedings, *Fifth International Symposium on Chemistry of Cement*, Cement Association of Japan, Part IV, Tokyo, Pages 270-274.
- Su, N., Hsu, K., ve Chai, H. (2001). A simple mix design of self-compacting. *Cement and Concrete Research Volume 31*, Issue 12, December 2001, Pages 1799-1807
- Şimşek, O. (2007). Beton ve Beton Teknolojisi, 2. Baskı, Seçkin Yayıncılık, Ankara, Türkiye.
- Tattersall, G.H. ve Banfill, P.F.G. (1983). Rheology of Fresh concrete, *Pitman Advanced Pub. Program*, Boston.
- Tattersall, G. H. (1991). Workability and Quality Control of Concrete, *E.&F.N. Spon Publ.*, 262 s., London.
- Topçu, İ. B. (1996). Akışkanlaştırıcı ve Donatı Dayanım Katkılarının Beton Özelliklerine Etkisi. 4. *Ulusal Beton Kongresi*, 30-31 Ekim- 1 Kasım, İstanbul, ss. 45-53.
- Topçu, İ.B. ve Demir, A. (2005). Uçucu Kül Katkılı Harçlarda Yüksek Sıcaklık Etkisi. 6. *Ulusal Beton Kongresi Yüksek Performanslı Betonlar*. 16-17-18 Kasım 2005, İstanbul, ss. 101-111.
- Topçu, İ.B. ve Uygunoğlu T. (2008). Kendiliğinden Yerleşen Harçlarda Harç Bileşiminin Eşik Kayma Gerilmesine Etkisi, *Çimento ve Beton Dünyası Dergisi*, 72, 82-98.
- TS EN 196-1. (2009). Çimento Deney Metotları - Bölüm 1: Dayanım Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 12390-3. (2003). Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri Basınç Dayanımı Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini, Ankara.

- TS EN 12390-4. (2002). Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri Basınç Dayanımı Deney Makinelerinin Özellikleri, Ankara.
- TS EN 934-2. (2002). Beton, Harç ve Şerbet için Kimyasal Katkılar, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 12504-2. (2004). Yapılarda Beton Deneyleri-Bölüm 2:Tahribatsız Deneyler-Geri Sıçranma Sayısının Tayini, Ankara.
- TS EN 12504-4. (2004). Beton Deneyleri-Bölüm 4:Ultras ses Geçiş Hızının Tayini, Ankara.
- TS EN 197-1. (2012). Çimento-Bölüm 1: Genel Çimentolar-Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Türkiye Hazır Beton Birliği (2007). Kendiliğinden Yerleşen Beton Kılavuzu, Nisan.
- URL-1 (2018)'e göre http://ecosmartconcrete.com/?page_id=250, Ecosmart, Tarihçe, (27.11.2018).
- Uygunoğlu, T. (2008). Hafif Agregalı Kendiliğinden Yerleşen Betonun Özellikleri. SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora tezi, Isparta.
- Uygunoğlu, T., Güneş, İ., Ersoy, B.ve Evcin, A. (2017). Kendiliğinden yerleşen polimerik harçlarda mineral katkının reolojik özelliklere etkisi. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University* 32:4 (2017) 1365-1377.
- Uysal, M. ve Yılmaz, K. (2011). Effect of mineral admixtures on properties of self-compacting concrete.*Cement and Concrete Composites Volume 33, Issue 7, August 2011, Pages 771-776.*
- Uysal, M. ve Sumer, M. (2011). Performance of self-compacting concrete containing different mineral admixtures. *Construction and Building Materials Volume 25, Issue 11, November 2011, Pages 4112-4120.*
- Uysal, M., Yılmaz, K. ve İpek, M. (2012). The effect of mineral admixtures on mechanical properties, chloride ion permeability and impermeability of self-compacting concrete. *Construction and Building Materials Volume 27, Issue 1, February 2012, Pages 263-270.*
- Vu, D.D. (2002). Strength Properties of Metakaolin-Blended Paste, Mortar and Concrete. *Delft University Press, Netherlands.*
- Wallevik, O.H. ve Nielsson, I. (1999). Self-Compacting Concrete–A rheological approach, Proc. of the Int. Workshop on SCC, Kochi, Ozawa, K. and Ouchi, M. (Eds), JSCE, pp. 136-159.

- Wang, D., Zhou, X., Meng, Y. ve Chen, Z. (2017). Durability of concrete containing fly ash and silica fume against combined freezing-thawing and sulfate attack. *Construction and Building Materials Volume 147*, 30 August 2017, Pages 398-406. 30 August 2017, Pages 398-406.
- Wongkeo, W., Thongsanitgarn, P., Ngamjarurojana, A. ve Chaipanich, A. (2014). Compressive strength and chloride resistance of self-compacting concrete containing high level fly ash and silica fume. *Materials & Design Volume 64*, December 2014, Pages 261-269.
- Yaprak, H., Şimşek, O. ve Aruntaş, H.Y. (2004). Uçucu Kül ve Yüksek Fırın Cürufunun Akışkanlaştırıcı Katkılı Beton Üzerine Etkisi, *Ulusal Beton Kongresi 2004*, İstanbul.
- Yeğiner, Y. (2014). Yerçekimi Etkili Newtonyen Olmayan Düşen Film Akışı. Uçak ve Uzay Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Onur ŞEKER
Doğum Yeri ve Tarihi : Sivas ve 22.12.1991
e-posta : onurseker91@gmail.com

Eğitim Durumu

Lisans Öğrenimi : Bartın Üniversitesi Müh. Fak. İnşaat Müh. Bölümü
Yüksek Lisans : Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat
Öğrenimi Müh. Anabilim Dalı
Bildiği Yabancı Diller : İngilizce ve Korece
Bilimsel : Şeker, O., Gençel, O. ve Durgun, M. Y.,İnce Agregada
Faaliyet/Yayınlar Boyutunda Yüksek Fırın Cürufu Kullanımının
Kendiliğinden Yerleşen Beton Özelliklerine
Etkisi,6.Uluslararası Multidisipliner Çalışmaları
Kongresi, 26-27 Nisan 2019, Gaziantep, ss. 407-413.

İş Deneyimi

Stajlar : Kemik İnşaat– Şantiye (Bartın)
DSİ - Baraj (Bartın)
Projeler ve Kurs :
Belgeleri
Çalıştığı Kurumlar : Amasra Yapı Denetim 2015-.... (devam ediyor)

İletişim

E-Posta Adresi : onurseker91@gmail.com
Tarih : 28/06/2019 (Tez Savunma Tarihi)