

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONLARDA YÜKSEK  
ORANDA ÖĞÜTÜLMÜŞ YÜKSEK FIRIN CÜRUFU  
KULLANIMININ FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNE  
ETKİSİ**

**AYŞE MOLLAİSMAİLOĞLU**

**KOCAELİ 2020**

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**  
**ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONLARDA YÜKSEK**  
**ORANDA ÖĞÜTÜLMÜŞ YÜKSEK FIRIN CÜRUFU**  
**KULLANIMININ FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERE**  
**ETKİSİ**

**AYŞE MOLLAİSMAİLOĞLU**

**Dr. Öğr. Üyesi Adnan ÖNER**  
**Danışman, Kocaeli Üniversitesi**  
**Doç. Dr. Salih Taner YILDIRIM**  
**Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi**  
**Dr. Öğr. Üyesi Alper CUMHUR**  
**Jüri Üyesi, Yalova Üniversitesi**

  
.....  
  
.....  
  
.....

**Tezin Savunulduğu Tarih: 29.01.2020**

## ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması kapsamında öğütölmüş yüksek fırın cürufu (ÖYFC) ile kendiliğinden yerleşen betonlar (KYB) üretilmiştir. Üretilen beton numuneleri üzerinde mekanik ve aşınma deneyleri yapılmıştır ve sonuçlar referans numune ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre kullanım alanları araştırılmıştır. Çalışmaların tamamı Kocaeli Üniversitesi Laboratuvarı'nda yapılmıştır.

Bu çalışma süresince benden bilgi, güven ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen değerli tez danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Adnan Öner'e, lisansüstü eğitimim boyunca göstermiş olduğu ilgi ve yardımlarından dolayı Arş. Gör. Dr. Onur Öztürk'e, mühendislik yaşamımda bilgi ve tecrübesi ile bana destek olan Dr. Öğr. Üyesi Temel Temiz'e ve ayrıca tez çalışmamın her aşamasında benden desteğini eksik etmeyen değerli arkadaşım inşaat mühendisi Recep Ünlü'ye çok teşekkür eder, sevgi ve saygılarımı sunarım.

Yaşamım boyunca benden ilgi ve sevgilerini eksik etmeyen, beni her türlü kararında destekleyen aileme ve eşimin ailesine, ayrıca çalışmam boyunca yanımda olan oğullarım Kuzey ve Mete'ye sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Bu süreçte bana elinden geldiğince destek olan eşim Deniz'e de ayrıca teşekkür ederim.

Şubat - 2020

Ayşe MOLLAİSMAİLOĞLU

## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR .....	i
İÇİNDEKİLER .....	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iv
TABLolar DİZİNİ .....	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	vii
ÖZET.....	viii
ABSTRACT .....	ix
GİRİŞ .....	1
1.GENEL BİLGİLER .....	3
1.1.Çalışmanın Amacı .....	3
1.2.Kendiliğinden Yerleşen Beton Tanımı.....	3
1.3.Kendiliğinden Yerleşen Betonun Tarihçesi .....	4
1.4.Kendiliğinden Yerleşen Betonun Tasarım Yöntemleri.....	5
1.5.Kendiliğinden Yerleşen Beton Tasarımında Kullanılan Malzemeler .....	5
1.5.1.Çimento .....	6
1.5.2.Agrega .....	6
1.5.3.Su .....	6
1.5.4.Kimyasal katkılar.....	6
1.5.5.Akışkanlaştırıcı katkılar.....	6
1.5.6.Viskozite düzenleyici katkılar .....	7
1.5.7.Mineral katkılar .....	7
1.6.Kendiliğinden Yerleşen Taze Beton Deneyleri.....	7
1.6.1. Çökme-yayıma (slump-flow) deneyi.....	7
1.6.2.V-hunisi deneyi.....	8
1.6.3.L-kutusu deneyi .....	9
1.6.4.Doldurma kutusu deneyi.....	10
1.6.5.U kutusu deneyi .....	11
1.6.6.Fill box deneyi.....	12
1.6.6.J ring deneyi.....	13
1.7.Kendiliğinden Yerleşen Betonun Kullanım Alanları .....	13
1.8.Öğütülmüş Yüksek Fırın Cürufu.....	17
1.8.1.ÖYFC'nin elde edilmesi.....	17
1.8.2. ÖYFC'nin kullanım alanları .....	18
1.8.3.ÖYFC'nin Portland çimentosuyla karşılaştırılması.....	22
2.LİTERATÜR ÇALIŞMASI .....	24
2.1.Taze Beton Özellikleriyle İlgili Yapılan Çalışmalar.....	24
2.2.Sertleşmiş Beton Özellikleriyle İlgili Yapılan Çalışmalar .....	25
3.DENEYSEL ÇALIŞMALAR .....	26
3.1.Deneylerde Kullanılan Malzemeler .....	26
3.1.1.Agrega .....	26
3.1.2.Çimento .....	28
3.1.3.Yüksek fırın cürufu.....	30
3.1.4.Hiperakışkanlaştırıcı katkı .....	31

3.2.Deneylerde Kullanılan Aletler .....	32
3.2.1.Laboratuvar.....	32
3.2.2.Elek takımı.....	33
3.2.3.Hassas ve elektronik terazi .....	33
3.2.4.Beton mikseri.....	34
3.2.5.Slump hunisi .....	34
3.2.6.Birim ağırlık kovası.....	35
3.2.7.Kalıplar .....	35
3.2.8.Kür odası ve kür havuzları.....	36
3.2.9.Isıtıcı ve havalandırma.....	37
3.2.10.Basınç ve yarmada çekme deney aleti .....	37
3.2.11.Eğilme deney aleti .....	38
3.2.12.Aşınma (Böhme) deney aleti .....	38
3.2.13.Kumpas .....	39
3.3.Beton Karışımları .....	39
3.4.Deney Numunelerinin Üretimi.....	41
3.5.Deney Yöntemleri .....	43
3.5.1.Taze beton deneyleri.....	43
3.5.2.Sertleşmiş beton deneyleri.....	44
4.DENEY SONUÇLARI .....	49
4.1.Taze Beton Deneyleri.....	49
4.2.Sertleşmiş Beton Deneyleri.....	51
4.2.1.Basınç dayanımı .....	51
4.2.2 Yarmada çekme dayanımı .....	53
4.2.3.Eğilme dayanımı.....	55
4.2.4.Aşınma deneyi .....	56
5. MALİYET KARŞILAŞTIRMASI.....	60
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	62
KAYNAKLAR .....	64
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER .....	68
ÖZGEÇMİŞ .....	69

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	Çökme-yayımla deney aparatı .....	7
Şekil 1.2.	V-hunisi deney aparatı .....	8
Şekil 1.3.	V-hunisi deney aparatı ölçüleri .....	8
Şekil 1.4.	L-kutusu deney aparatı.....	9
Şekil 1.5.	L-kutusu deney aparatı ölçüleri .....	9
Şekil 1.6.	Doldurma kutusu deney aparatı .....	10
Şekil 1.7.	Doldurma kutusu deney aparatı ölçüleri .....	10
Şekil 1.8.	U kutusu deney aparatı.....	11
Şekil 1.9.	U kutusu deney aparatı.....	11
Şekil 1.10.	Fill box deney aparatı.....	12
Şekil 1.11.	Fill box deney aparatı ölçüleri .....	12
Şekil 1.12.	J ring deney aparatı .....	13
Şekil 1.13.	KYB kullanılarak restore edilmiş tarihi 4. Vakıf Han .....	14
Şekil 1.14.	İstanbul 7 tepe 7 tünel projesi .....	15
Şekil 1.15.	BJK Vodafone arena stadyumu projesi.....	15
Şekil 1.16.	Büyük İstanbul su temini II. merhale projesi.....	16
Şekil 1.17.	Spine tower maslak .....	16
Şekil 1.18.	Yüksek fırında YFC ve ham demirin elde edilmesi.....	17
Şekil 1.19.	Yüksek fırın sıcaklık bölgeleri.....	18
Şekil 1.20.	2016 yılı YFC kullanım alanları .....	19
Şekil 1.21.	Üst yapısında cüruf kullanılmış yol görünümü.....	21
Şekil 1.22.	Cürufun asfalt malzemesi olarak kullanımı .....	21
Şekil 1.23.	Cürufun demiryolu balastı olarak kullanımı .....	22
Şekil 1.24.	Portland çimentosu üretim prosesi.....	22
Şekil 3.1.	Deneylerde kullanılan kırma kum.....	26
Şekil 3.2.	Deneylerde kullanılan kırma taş .....	26
Şekil 3.3.	Deneylerde kullanılan doğal kum .....	27
Şekil 3.4.	KYB üretiminde kullanılan agregaların granülometrik dağılımı.....	28
Şekil 3.5.	Deneylerde kullanılan çimento .....	28
Şekil 3.6.	Deneylerde kullanılan öğütülmüş yüksek fırın cürufu.....	30
Şekil 3.7.	Deneylerde kullanılan hiper akışkanlaştırıcı katkı.....	31
Şekil 3.8.	Kocaeli Üniversitesi yapı malzemesi laboratuvarı .....	32
Şekil 3.9.	2,25-16 mm elek takımı .....	33
Şekil 3.10.	Kullanılan teraziler.....	33
Şekil 3.11.	Beton mikseri .....	34
Şekil 3.12.	Yayımla deneyinde kullanılan slump hunisi.....	34
Şekil 3.13.	Kullanılan birim ağırlık kovası .....	35
Şekil 3.14.	Silindir kalıp .....	35
Şekil 3.15.	Prizma kalıp .....	36
Şekil 3.16.	Aşındırma kalıpları .....	36

Şekil 3.17. Kür odası ve kür havuzları.....	36
Şekil 3.18. Isıtıcı ve havalandırma.....	37
Şekil 3.19. Basınç ve yarmada çekme deney aleti .....	37
Şekil 3.20. Eğilme deney aleti.....	38
Şekil 3.21. Aşınma (Böhme) deney aleti .....	38
Şekil 3.22. Kumpas .....	39
Şekil 3.23. Beton mikserinde karıştırılarak hazırlanan beton .....	41
Şekil 3.24. Yağlanarak hazırlanan kalıplar ve kalıplara dökülen numuneler .....	42
Şekil 3.25. Kür havuzlarında bekletilen numuneler.....	42
Şekil 3.26. Yayılma deneyi numunesi.....	43
Şekil 3.27. Silindir numunelere kükürt başlık yapma işlemi .....	45
Şekil 3.28. Basınç dayanım deneyi .....	45
Şekil 3.29. Yarmada çekme deneyi için hazırlanmış numune .....	46
Şekil 3.30. Yarmada çekme dayanım deneyi .....	46
Şekil 3.31. Eğilme dayanım deneyi.....	47
Şekil 3.32. Aşınma (Böhme) deneyi .....	48
Şekil 4.1. Sırasıyla numunelerin basınç dayanımı deneyi kırılma şekilleri .....	51
Şekil 4.2. ÖYFC ile üretilen sertleşmiş betonların basınç dayanımlarının ilişkisi .....	52
Şekil 4.3. ÖYFC ile üretilen betonların basınç dayanımlarının % değişim ilişkisi .....	53
Şekil 4.4. Sırasıyla numunelerin yarmada çekme deneyi kırılma şekilleri .....	53
Şekil 4.5. ÖYFC ile üretilen sertleşmiş betonların yarmada çekme dayanımlarının ilişkisi .....	54
Şekil 4.6. Sırasıyla numunelerin eğilme dayanımı deneyi kırılma şekilleri .....	55
Şekil 4.7. ÖYFC ile üretilen sertleşmiş betonların eğilme dayanımlarının ilişkisi .....	56
Şekil 4.8. Aşınma deneyi yapılmış numunelerden bir seri.....	57
Şekil 4.9. Aşınma (Böhme) deneyi ağırlık kaybı (%)- yer değiştirme ilişkisi .....	58
Şekil 4.10. 28 günlük aşınma (Böhme) deneyi ağırlık kaybı (g) .....	59
Şekil 4.11. 90 günlük aşınma (Böhme) deneyi ağırlık kaybı (g) .....	59

## TABLULAR DİZİNİ

Tablo 1.1.	2014 Yılı YFC ile atık ve geri kazanım miktarları (ton) .....	19
Tablo 1.2.	YFC'nin Avrupa'daki uygulama alanları .....	20
Tablo 1.3.	ÖYFC ve Portland çimentosunun kimyasal bileşimleri .....	23
Tablo 3.1.	Kullanılan agregaların granülometrik bileşimleri.....	27
Tablo 3.2.	Kullanılan çimentonun mekanik özellikleri.....	29
Tablo 3.3.	Kullanılan çimentonun kimyasal bileşimi .....	29
Tablo 3.4.	Kullanılan çimentonun fiziksel özellikleri.....	29
Tablo 3.5.	Yüksek fırın cürufu kimyasal bileşimi.....	30
Tablo 3.6.	Yüksek fırın cürufu fiziksel özellikleri.....	31
Tablo 3.7.	Kullanılan hiper akışkanlaştırıcı katkı özellikleri.....	32
Tablo 3.8.	Beton karışımlarının kodları .....	40
Tablo 3.9.	Yüksek oranda ÖYFC ile üretilen KYB karışımının 1 m <sup>3</sup> için malzeme miktarları.....	40
Tablo 4.1.	EFNARC'a göre yayılma değerleri .....	49
Tablo 4.2.	ÖYFC ile üretilen KYB'lerin taze beton deney sonuçları.....	50
Tablo 4.3.	ÖYFC ile üretilen sertleşmiş betonların 7 ve 28 günlük basınç dayanım değerleri.....	51
Tablo 4.4.	ÖYFC ile üretilen sertleşmiş betonların 7, 28 ve 90 günlük yarmada çekme dayanım değerleri.....	54
Tablo 4.5.	ÖYFC ile üretilen sertleşmiş betonların 7, 28 ve 90 günlük eğilme dayanım değerleri.....	55
Tablo 4.6.	Üretilen betonların 28 ve 90 günlük aşınma değerleri.....	57
Tablo 5.1.	1 m <sup>3</sup> için beton maliyetleri.....	60



## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Bs	: Betonun birim ağırlığı, (gr/cm <sup>3</sup> )
V	: Kabın hacmi,
W2	: Dolu kap ağırlığı, (gr)
W1	: Kabın darası, (gr)
Δm	: 16 çevrimden sonra kütle kaybı, (g)
ΔV	: 16 çevrimden sonra hacim kaybı, (cm <sup>3</sup> )
ρR	: Numunenin yoğunluğu, (gr/cm <sup>3</sup> )

## Kısaltmalar

EFNARC	: The European Federation of Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems. (Avrupa Federasyonu Özel Yapı Kimyasalları ve Beton Sistemleri)
GGBS	: High Blast Furnace Slag
HA	: Hiperakışkanlaştırıcı
HP	: Hyper Plasticizing
KYB	: Kendiliğinden Yerleşen Beton
ÖYFC	: Öğütülmüş Yüksek Fırın Cürufu
SCC	: Self Compacting Concrete
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
YFC	: Yüksek Fırın Cürufu

## **KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONLARDA YÜKSEK ORANDA ÖĞÜTÜLMÜŞ YÜKSEK FIRIN CÜRUFU KULLANIMININ FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİ**

### **ÖZET**

Bu çalışmanın amacı çimento ile yüksek oranlarda öğütölmüş yüksek fırın cürufunu (ÖYFC) yer değiştirerek kendiliğinden yerleşen beton (KYB) elde etmek ve bu betonların mekanik özelliklerini incelemektir. Hazırladığımız karışımlarda çimento ile yüksek fırın cürufu %15, %30, %45, %60, %75 ve %90 oranlarında yer değiştirilmiştir. Bunlara ek cüruf kullanılmadan elde edilen referans numunesiyle birlikte 7 farklı karışım elde edilmiştir. KYB 'lerde hiper akışkanlaştırıcı katkı (HA), doğal kum, kırma kum ve kırma taş kullanılmıştır. Elde edilen betonda taze beton deneyi olarak, yayılma deneyi (slump deneyi) yapılmıştır. Ardından silindir, prizma ve aşınma deneyi için küp kalıplara beton dökülerek numuneler elde edilmiştir. Numuneler üzerinde 7, 28 ve 90 günlük basınç, yarmada çekme, eğilme ve 28 ve 90 günlük aşınma deneyleri yapılmıştır. Kontrol numunesi referans alınarak çıkan sonuçlar değerlendirilmiştir. Sonuçlara göre ÖYFC ile çimento yer değiştirme oranının %45'e kadar olumlu sonuç verdiği, %45'ten fazla yer değiştirme yapıldığında ise taşıma değerleri düşerken aşınma direncinin yeterli sonuçlar verdiği görölmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Aşınma Deneyi, İnce Agregası, Kendiliğinden Yerleşen Beton, Yüksek Fırın Cürufu.

## **THE EFFECT OF HIGH VOLUME GROUND BLAST FURNACE SLAG USE TO PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES IN SELF COMPACTING CONCRETES**

### **ABSTRACT**

The aim of this study is to obtain self-compacting concrete (SCC) by replacing cement and high-grade blast furnace slag (GGBS) and to investigate the mechanical properties of these concretes. Cement and blast furnace slag were replaced by 15%, 30%, 45%, 60%, 75% and 90% in the mixtures we prepared. 7 different mixtures were obtained with the reference sample obtained without using additional slag. Hyper fluidizing additive (HP), natural sand, crushed sand and crushed stone were used in SCCs. In the obtained concrete, spreading test (slump test) was performed as fresh concrete test. Then, concrete was poured into cube molds for cylinder, prism and wear test and samples were obtained. Samples were subjected to 7, 28 and 90 day compressive strength, tensile strength, bending and 28 and 90 day wear tests. The results were evaluated with reference to the control sample. According to the results, it was seen that the cement displacement rate with GGBS yielded positive results up to 45%, and when the displacement was carried out more than 45%, wear resistance decreased while carrying values decreased.

**Keywords:** Abrasion Test, Fine Aggregate, Self-Compacting Concrete, Blast Furnace Slag.

## GİRİŞ

Kendiliğinden yerleşen beton ile ilgili çalışmalar ilk olarak 1986 yılında Japonya'da Tokyo Üniversitesi'nde yapılmıştır. KYB su altı yapılarında beton dökümü üzerine yapılan çalışmalar sonucu bulunmuştur [1-2].

KYB'ler hiçbir sıkıştırma işlemi gerekmeksizin kendi ağırlığıyla kalıbı dolduran, en dar ve ulaşılması güç yerlere bile vibratörsüz ulaşabilen, ayrışmaya karşı dirençli, geçirimsizliği düşük ve yalıtım değerleri diğer betonlara göre yüksek olan özel bir beton türüdür [3].

KYB'ler bütün imalat alanlarında rahatlıkla kullanılabilir. Akışkanlığının yanı sıra imalat süresini kısaltma, işçilik maliyetini düşürme, özellikle sık donatılı betonarme elemanlarda betonun kalıba boşluksuz bir şekilde yerleşmesini sağlama ve vibrasyondan kaynaklanan ses kirliliğini azaltma gibi geleneksel betona göre birçok üstünlüğü bulunmaktadır [4]. Ayrıca KYB'ler betonarme yapıların onarım ve güçlendirilmesinde ve prefabrik yapıların üretiminde de önemli rol almaktadır.

Ancak KYB'nin üretim maliyeti diğer betonlara göre yüksektir. KYB üretiminde diğer betonlara göre çimento ve ince agrega kullanımı daha fazla iken iri agrega kullanımı daha azdır. Yani açıkçası KYB'yi diğerlerinden ayıran faktör, iyi bir agrega granülometrisidir. KYB tasarımını etkileyen bir diğer faktör ise akışkanlaştırıcı katkı kullanımındır [5-7].

Öte yandan çevresel kirliliğin önüne geçmek adına atık geri dönüşüm uygulamaları ülkemizde yaygın olarak devam etmektedir. Bu atıklardan biri olan ÖYFC, demir üretimi esnasında açığa çıkan bir yan üründür. Demir-çelik tesislerindeki fırınlarda sıcaklıklar 1600 °C 'a ulaşmaktadır. Bu sıcaklıkta ÖYFC hammaddenin üst kısmında toz şeklinde ayrışır. Ve fırından ayrı ayrı tahliye edilirler [8]. Ardından kullanım alanına göre ÖYFC aniden soğutularak granüle hale getirilir ve daha sonrasında öğütülür. Öğütülen bu malzeme beton üretiminde kullanılabilir. ÖYFC'nin taze ve sert betonun fiziksel ve mekanik özelliklerine birçok olumlu etkisi bulunduğu

Bilinmektedir [9]. Bunlardan başlıcaları betonun priz süresini uzatması, su ihtiyacını azaltması, hava boşluğunu azaltması, termal çatlaklar, sünme-rötre ve korozyonu azaltması olarak sayılabilir.



## **1.GENEL BİLGİLER**

### **1.1.Çalışmanın Amacı**

Bu çalışma kapsamında ÖYFC'nin KYB üzerindeki fiziksel, mekanik ve aşınma etkileri araştırılmıştır. Elde edilen deney sonuçları göz önünde bulundurularak ÖYFC içeren betonların basınç, eğilme ve yarmada çekme dayanımları ile aşınmaya karşı gösterdikleri direnç yorumlanmıştır. ÖYFC'nin dayanım değerleri üzerindeki etkileri kontrol betonuyla karşılaştırılmıştır. Bu değerlendirmeler yardımıyla, kullanılacak maksimum ÖYFC yüzdesinin belirlenmesi ve uygun kullanım alanlarının değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

### **1.2.Kendiliğinden Yerleşen Beton Tanımı**

KYB dayanıklılık ve dayanım açısından kullanıcıya fazlasıyla avantajlar sağlayan, geleneksel betonların sıkışma yetersizliğinden ve kalitesiz işçilikten kaynaklanan sorunlarını ortadan kaldıran özel bir beton türüdür. KYB, işin yapım süresini kısaltması, gerekli işçiliği azaltması ve bunlara bağlı olarak maliyetini de düşürmesiyle hem zamandan hem işçilikten hem de maliyet açısından tasarruf sağlamaktadır.

KYB lerin erken dayanım kazanması, betonun oldukça homojen dağılması ve vibratörden kaynaklanan gürültü kirliliğini ortadan kaldırması gibi avantajları da dikkate alındığında, birçok araştırmacının görüşüyle geleceğin betonu olarak öngörülebilir [10].

KYB nin en önemli özellikleri, önemli ölçüde akıcı olması ve ayrışmaya karşı gösterdiği yüksek dirençtir. Bu sebeple su/bağlayıcı oranı, kullanılan kimyasal katkıları ve doğru agrega granülometrisi KYB üretiminde önemli rol oynamaktadır. Bunun yanı sıra KYB üretiminde kullanılan malzemeler arasında en yüksek maliyete sahip olan ürün çimentodur. Günümüzde bir yan ürün olarak değerlendirilebilen ÖYFC'lerin de çimentoya alternatif olarak kullanılabilmesi üzerine birçok çalışmalar yapılmıştır.

### 1.3.Kendiliğinden Yerleşen Betonun Tarihçesi

KYB ilk kez 1986 yılında Japonya’da su altı uygulamalarında suda ayrıışmayan beton üretimi amacıyla geliştirilmiştir. Betondaki ‘kendiliğinden yerleşebilirlik’ tanımını ortaya atan ilk isim Okamura’dır. Okamura’nın ardından çalışmalara Ozawa, Ouchi ve Maekawa devam etmişlerdir [11]. Tokyo’da 1988 yılında KYB prototipi üretilmiş ve özellikleri incelenmiştir. KYB üretiminde hedeflenen esas, betonun dayanımının yanı sıra dayanıklılık açısından da yüksek performans göstermesidir [12].

1980’lerin başında İtalya’da bir deniz yapısı inşasında sualtı temel betonu olarak reoplastik özelliklerde bir beton dökümü gerçekleştirilerek ilk KYB uygulaması yapılmıştır. Üretilen beton, oldukça yüksek viskoziteli, sıkıştırmaya gerek kalmadan su altında kalıba kolayca yerleşebilen ve bu kohezyonuyla deniz ortamının yıkayıcı etkisine karşı durabilen bir beton olmuştur [13]. KYB ile ilgili ilk çalışmaları Kuzey Amerika’da 1996 yılında ABD’de Ferguson, Kanada’da ise Aitcin ve arkadaşları yapmışlardır [13]. Avrupa’da ise özellikle Almanya, İngiltere, Hollanda, İtalya ve Norveç KYB tasarımı, üretimi ve uygulaması konusunda oldukça başarılı çalışmalar gerçekleştirmiştir [14-17].

Doğu Asya ve Pasifik Yapı Mühendislik Konferansı’nda (EASEC) Ozawa tarafından 1989 yılında KYB’ler hakkında ilk bildiri yapılmıştır [18].

2005 yılında KYB’nin kullanımını arttırmak amacıyla, 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 [19].

Son yıllarda Türkiye’de de KYB’ler üzerine çalışmalar başlatılmış ve bu konuda büyük gelişmeler sağlanmıştır. Yapılan çalışmalarda KYB karışımlarının tasarımına yönelik, çevresel faktörler de göz önünde bulundurularak atık vaziyette bulunan malzemelerin kullanılması ve geri kazanımı sağlanmış ve yenilikçi KYB karışımları hazırlanmıştır. KYB karışımları hazırlanırken genel olarak EFNARC kriterleri dikkate alınmıştır [20].

#### **1.4.Kendiliğinden Yerleşen Betonun Tasarım Yöntemleri**

KYB'lerin tasarımı ile geleneksel betonların tasarımı farklılıklar göstermektedir. KYB'nin 'kendiliğinden yerleşebilirlik' kavramı kazanabilmesi için karışım için bazı çalışmalar yapılmıştır. Bu karışımlarla ilgili çalışmalar EFNARC komitesi tarafından 2002 yılında KYB ile ilgili gerekli tüm bilgileri içeren "Specification and Guidelines for SC" isimli dokümanı yayınlamıştır [21]. Ardından 2005 yılında "The European Guidelines for Self-Compacting Concrete Specification, Production and Use" isimli dökümanı yayınlamışlardır. Bu doküman, betonun yayılabilme özelliğini 550 mm ile 850 mm arasında olmasını sağlamayı ve bunun yanı sıra betonun ayrışmasının ve terlemesinin engellenmesini hedeflemiştir. KYB akışkanlaştırıcı katkı maddeleri sayesinde yüksek akışkanlık özelliğine sahiptir ancak segregasyona uğramadan ve aynı zamanda uzun çalışma süresine sahip olabilmesi, ancak iyi bir karışım tasarımı ve doğru kimyasal katkıları kullanmakla mümkün olabilir.

KYB karışım oranlarını belirleyebilmek adına, 1988 yılında ilk model geliştirilmiştir. Geleneksel betonları meydana getiren malzemeler ile bir karışım hazırlanmıştır [22]. Bu modelde temel amaç, taze beton özelliklerinin ve sertleşmiş beton özelliklerinin istenen ölçülerde olmasını sağlamaktır. Ayrıca hazırlanan bu modelde, geleneksel betonlara göre bağlayıcı malzeme miktarları fazla, iri agrega içeriği ise az olarak tasarım yapılmıştır. Yapılan araştırmalarda KYB'lerin geliştirilmesinde taze beton özelliklerini tayin ederken üç temel etken göz önünde bulundurulmuştur [22-25]. Bu etkenler;

- Betonun taze haldeki özellikleri,
- Hazırlanan karışımdaki iri agrega miktarı,
- Akışkanlığı ve işlenebilirliği sağlayabilmek için akışkanlaştırıcı katkı kullanımı, şeklinde sıralanabilir.

#### **1.5.Kendiliğinden Yerleşen Beton Tasarımında Kullanılan Malzemeler**

KYB'lerin sahip olduğu, işlenebilirlik, ayrışmaya karşı gösterdikleri direnç ve donatıların arasından kolaylıkla geçebilme gibi özellikleri kazanabilmesi için tasarım esnasında dikkat edilmesi gereken birçok faktör vardır. Betonu oluşturan malzemelerin kendiliğinden yerleşme özelliğine etkisi, malzemelerin miktarı ve teknik



özellikleri ve hatta ekonomikliği de bu faktörler arasında sayılabilir. Bu sebeple tasarım yapılmadan önce malzeme seçimi ve miktarlarıyla ilgili detaylı araştırmalar yapılması gereklidir.

#### **1.5.1.Çimento**

KYB ile ilgili yapılan çalışmalarda genellikle bağlayıcı olarak Portland Çimentosu kullanılmıştır. Kullanılacak çimento TS EN 197-1 standardına uygun olmalıdır [26]. İçeriğinde  $Al_2O_3$  miktarı %10'un üzerinde olan çimentolar çalışma süresinin kısılmasına neden olabilir, bu da işlenebilirliği azaltarak kendiliğinden yerleşebilirlik konusunda olumsuz sonuçlar verebilirler.

#### **1.5.2.Agrega**

KYB'lerin üretiminde agrega tane boyutu ve tane dağılımı dikkate alınarak, gerekli stabiliteyi de sağlayabilmek için geleneksel betonlara göre daha fazla ince taneli malzeme kullanılmaktadır. Buna karşılık kullanılan iri agrega miktarı ise daha azdır. Geleneksel betonda kullanılan ince ve iri agregalar KYB'de de kullanılabilir. Ancak en büyük agrega boyutu geleneksel betonda göre daha küçüktür.

#### **1.5.3.Su**

KYB üretiminde kullanılacak karışım suyu TS EN 1008 standardına uygun olmalıdır [27].

#### **1.5.4.Kimyasal katkılar**

KYB'ler hem yeteri kadar stabiliteyi sağlarken hem de yüksek seviyede işlenebilirlik özelliklerine sahip olmalıdır. Bu sebeple KYB üretiminde kimyasal katkıların kullanımı büyük ölçüde önem kazanmıştır.

#### **1.5.5.Akışkanlaştırıcı katkılar**

Akışkanlaştırıcı özellikteki katkılar TS EN 934-2'ye uygun özellikte olmalıdır [28]. Akışkanlaştırıcı katkı, KYB'nin üretim aşamasındaki en önemli bileşen olarak sayılabilir. Bu nedenle kimyasal katkı kullanımında, erken dayanım kaybı

oluşturmayacak şekilde ve bununla birlikte betona optimum çalışma süresi sağlayabilecek özellikte bir katkı kullanılmasına özen gösterilmelidir.

### 1.5.6.Viskozite düzenleyici katkıları

KYB üretiminde viskozite düzenleyici katkı kullanımını birçok avantaj sağlarken, iyi bir tasarımla viskozite ayarlayıcıya gerek olmadan bu betonlar üretilebilir. Viskozite ayarlayıcı katkıların herhangi bir standardı bulunmamaktadır. Viskozite düzenleyici katkıların taze betonda kullanılması durumunda TS EN 934-2 standardının genel özelliklerini sağlaması gerekmektedir [29].

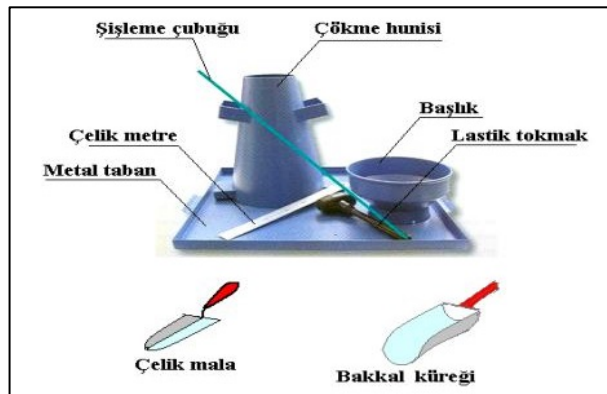
### 1.5.7.Mineral katkıları

KYB üretiminde kullanılan mineral katkıları olarak tanımladığımız ince taneli malzemeler, taze beton karışımlarının işlenebilirliğini artırırken, bununla birlikte çimento kullanım miktarını azaltarak hidrasyon ısısını düşürdüklerinden KYB uygulamalarında kullanımları çok yaygındır [30]. KYB uygulamalarında mineral katkıları olarak uçucu kül, granüle yüksek fırın cürufu, öğütülmüş yüksek fırın cürufu, doğal zeolit, silis dumanı ve metakaolin uygulamaları bulunmaktadır.

## 1.6.Kendiliğinden Yerleşen Taze Beton Deneyleri

### 1.6.1. Çökme-yayıma (slump-flow) deneyi

Taze halde uygulanan bu deney, betonun kendi ağırlığıyla akması ve bu akma işlemi gerçekleşirken geçen süreyi ölçen bir deney yöntemidir. Deney aleti olarak Şekil 1.1'de gösterilen slump hunisi kullanılmaktadır.



Şekil 1.1.Çökme-yayıma deney aparatı

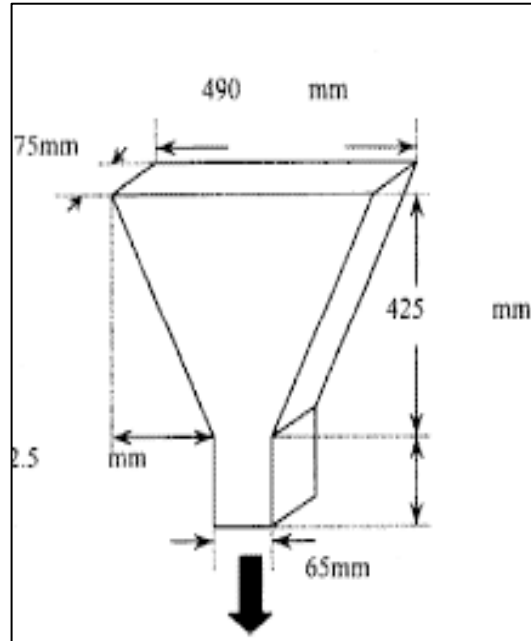
### 1.6.2.V-hunisi deneyi

Bu deney, betonun boşluklardan geçebilme yeteneğini ölçmek amacıyla, beton taze haldeyken yapılan bir deney yöntemidir.

Deney, Şekil 1.2 - Şekil 1.3'te gösterilen deney aleti olarak kullanılan huniye KYB doldurulduktan sonra en altta bulunan sürgülü kapak açılır ve huni içindeki tüm betonun alttaki kovayı doldurma süresi kaydedilerek yapılır.



Şekil 1.2. V-hunisi deney aparatı



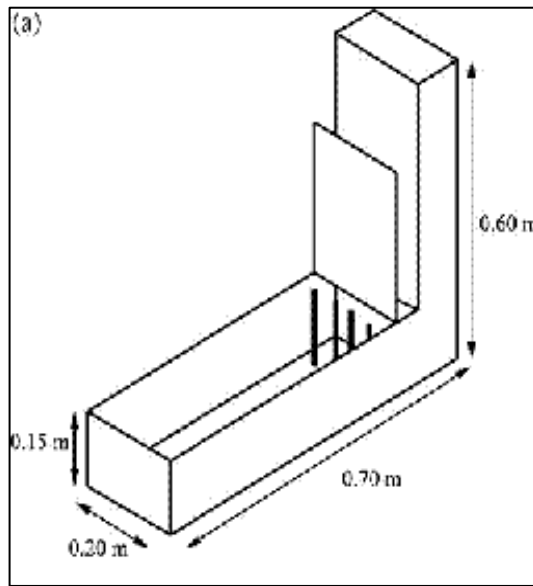
Şekil 1.3.V-hunisi deney aparatı ölçüleri

### 1.6.3.L-kutusu deneyi

L Kutusu deneyi kendiliğinden yerleşen taze beton karışımlarında geçiş yeterliliği ölçümünde kullanılır. 12 mm çapında çelik çubuklar arası mesafe 41 mm (3 çelik çubuk) veya 59 mm (2 çelik çubuk) olarak ayarlanabilir. Deney aleti Şekil 1.4 – Şekil 1.5’de görüldüğü gibi olan L kutusu deneyi, betonun bu ayarlanan çubuklar arasından geçme süresi ve diğer tarafta kalan beton miktarının ölçülmesi şeklinde yapılır.



Şekil 1.4.L-kutusu deney aparatı



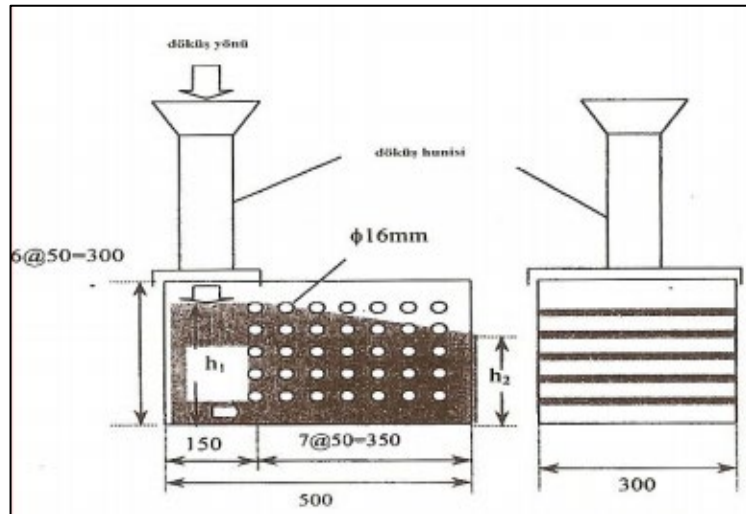
Şekil 1.5.L-kutusu deney aparatı ölçüleri

#### 1.6.4.Doldurma kutusu deneyi

Doldurma Kutusu, en büyük 20 mm tane boyutlu agrega içeren kendiliğinden yerleşen taze betonda, doldurma yeterliliği ölçümünde kullanılır. Doldurma Kutusu ile yapılan deney, Kajima Deneyi olarak da anılır. Deney aparatı, Şekil 1.6 – Şekil 1.7’de görüldüğü gibi içi görünen düz yüzeyli bir kaba sahiptir. Deney içinde engeller bulunan deney kutusuna KYB boşaltılarak, kutunun iki ucundaki seviye farkının ölçülmesiyle yapılır. Böylece yapılan bu deney, KYB’nin geçiş yeteneği hakkında bilgi verir.



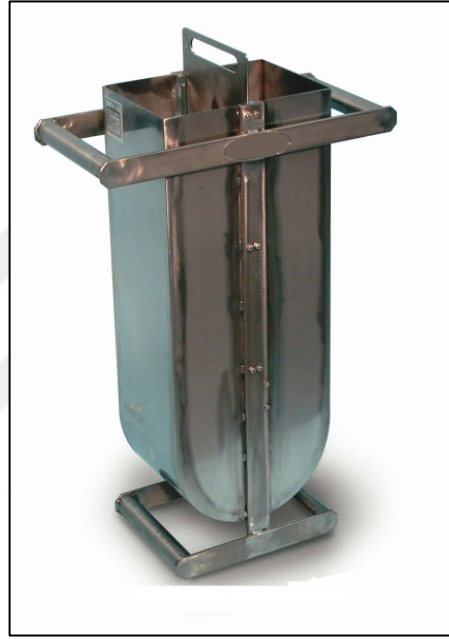
Şekil 1.6.Doldurma kutusu deney aparatı



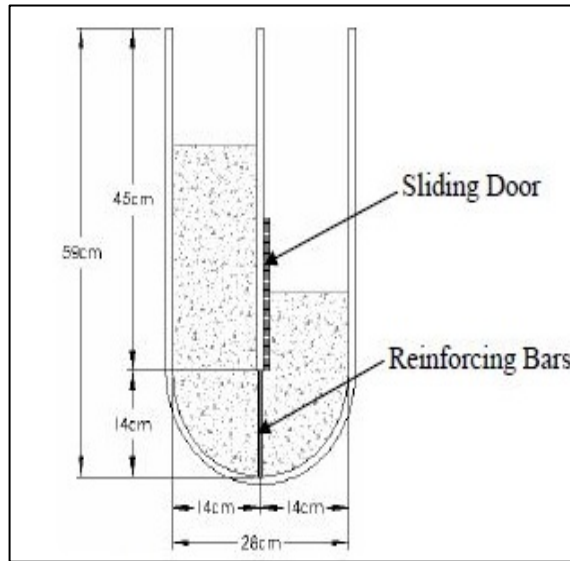
Şekil 1.7.Doldurma kutusu deney aparatı ölçüleri

### 1.6.5.U kutusu deneyi

Taze haldeki KYB'nin kendiliğinden yerleşme yeteneğinin tespitini hedefleyen bu deney numunenin özel bir kutu içerisinde, kendi ağırlığı ile yükselmesinin gözlenmesiyle yapılır. Deney aleti olarak Şekil 1.8 – Şekil 1.9'da görüldüğü gibi U şeklinde, alt ortasında sürgülü bir kapak olan ve aynı zamanda engel teşkil edecek demir çubuklar bulunan bir kutu kullanılır. Kutu KYB ile doldurulduktan sonra sürgülü kapak çekilerek betonun diğer kısma doğru yükselmesinin hızı ölçülür.



Şekil 1.8.U kutusu deney aparatı



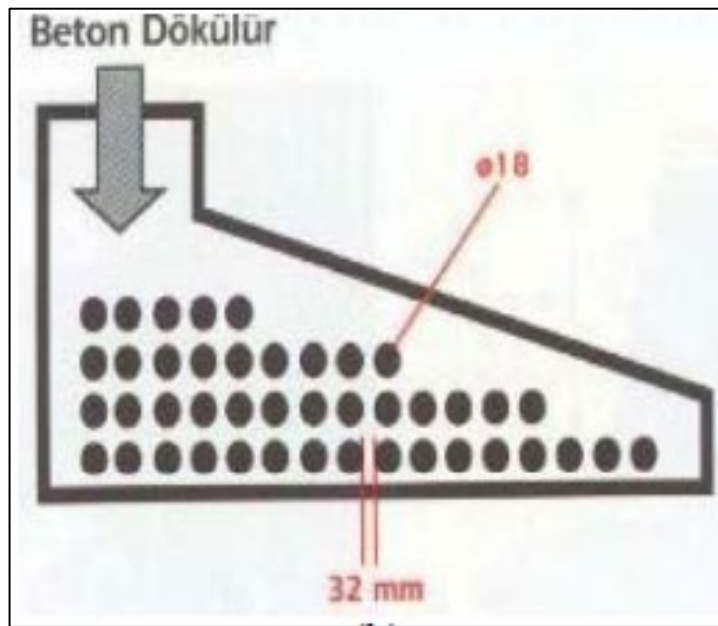
Şekil 1.9.U kutusu deney aparatı

### 1.6.6.Fill box deneyi

Betonun doldurma kabiliyetini ölçmek adına, Şekil 1.10 – Şekil 1.11’de verilen deney aleti yardımıyla, kendi ağırlığı altında sıkı donatı çubukları arasından akarak yapılan bir deney yöntemidir. Betonun ayrışma ve terleme yapmadan sıkı donatı çubukları arasından akışını gözlemleyerek ölçülür. Fill box deneyinin doldurma kutusu deneyinden farkı, bu deneyde kutunun beton döküm noktasından uzaklaştıkça daralması nedeniyle KYB’nin doldurma yeteneği farklı bir şekilde değerlendirilmektedir.



Şekil 1.10. Fill box deney aparatı



Şekil 1.11. Fill box deney aparatı ölçüleri

### 1.6.6.J ring deneyi

Bu deney KYB'nin geçiş özelliğini belirlemek için uygulanır. Deney aleti Şekil 1.12'de görüldüğü gibi slump hunisinin etrafına konularak, betonun demir çubukların arasından geçmesiyle yapılır. Ardından halkanın içindeki beton yüksekliği ile demir çubukların arasından geçen yani halkanın dışındaki beton yüksekliği ölçülerek deney sonucuna ulaşılr. Ölçülen bu yükseklikler arasındaki fark bize KYB'nin geçiş yeteneği hakkında bilgi verir.



Şekil 1.12.J ring deney aparatı

### 1.7.Kendiliğinden Yerleşen Betonun Kullanım Alanları

KYB'ler önemli derecede akışkanlık özelliğine sahiptir. Akıcılığı sayesinde kendi ağırlığı ile yerleşme yeteneği olan özel bir betondur. Sıkıştırma ve yerleştirme için vibrasyon ve herhangi bir işçilik gerektirmeyen yenilikçi bir betondur. Akışkanlığı ve ayrışma direnci, yüksek seviyede homojenlik, minimum hava boşlukları ve üniform beton elde etmenin yanı sıra, yapı için daha üstün seviyede dayanıklılık sağlamaktadır. KYB genellikle potansiyel olarak erken yaşta yüksek dayanım sağlar. Düşük su/çimento oranı ile üretilmesi, erken yaşta kalıptan alınması ve yapıların daha hızlı kullanımına imkan sağlaması önemli avantajlarındandır.

KYB'yi geleneksel betonlarla karşılaştırdığımızda pek çok konuda bizlere avantaj sağlamaktadır. Akıcı olması, minimum işçilik gerektirmesi, hızlı uygulanması, gürültü kirliliğine engel olup, sık donatı arasında ayrışma oluşmadan kalıp içerisini kolaylıkla doldurabilmesi, vibrasyona gerek duymadan her türlü kalıba kendi ağırlığı ile



yerleşebilmesi avantajları arasında sıralanabilir. Özellikle güçlendirme projelerinde KYB kullanımı geleneksel betona göre çok daha avantajlıdır. Çünkü dar kalıplarda en uzak noktalara betonun homojen olarak yayılabilmesi bu tip betonlarla mümkün olabilmektedir.

Kullanım alanları olarak;

- Güçlendirme işleri,
- Betonun ulaşmasının güç olduğu durumlar,
- Donatısı sık olan yapılar,
- Prekast yapı elemanları,
- Karmaşık ve detaylı kalıp gerektiren durumlar sıralanabilir.

KYB ülkemizde de kendine birçok kullanım alanı bulmuştur. Ülkemizde yakın dönemde kullanılan KYB örnekleri aşağıdaki fotoğraflarda sıralanmıştır.



Şekil 1.13.KYB kullanılarak restore edilmiş tarihi 4. Vakıf Han

1926 yılında yapımı tamamlanan tarihi han (Şekil 1.13) 2005 yılında KYB kullanılarak restore edilmiştir. Ve günümüzde otel olarak kullanıma açılmıştır.



Şekil 1.14.İstanbul 7 tepe 7 tünel projesi

İstanbul 7 tepe 7 tünel yapım işinde KYB kullanılmıştır. (Şekil 1.14)



Şekil 1.15.BJK Vodafone arena stadyumu projesi

BJK Vodafone Arena Stadyumu yapım işinde KYB kullanılmıştır. (Şekil 1.15)



Şekil 1.16. Büyük İstanbul su temini II. merhale projesi

Yapımı 2012 yılında tamamlanan Büyük İstanbul Su Temini II. Merhale Projesi yapım için de yine avantajları sebebiyle KYB tercih edilmiştir.(Şekil 1.16)



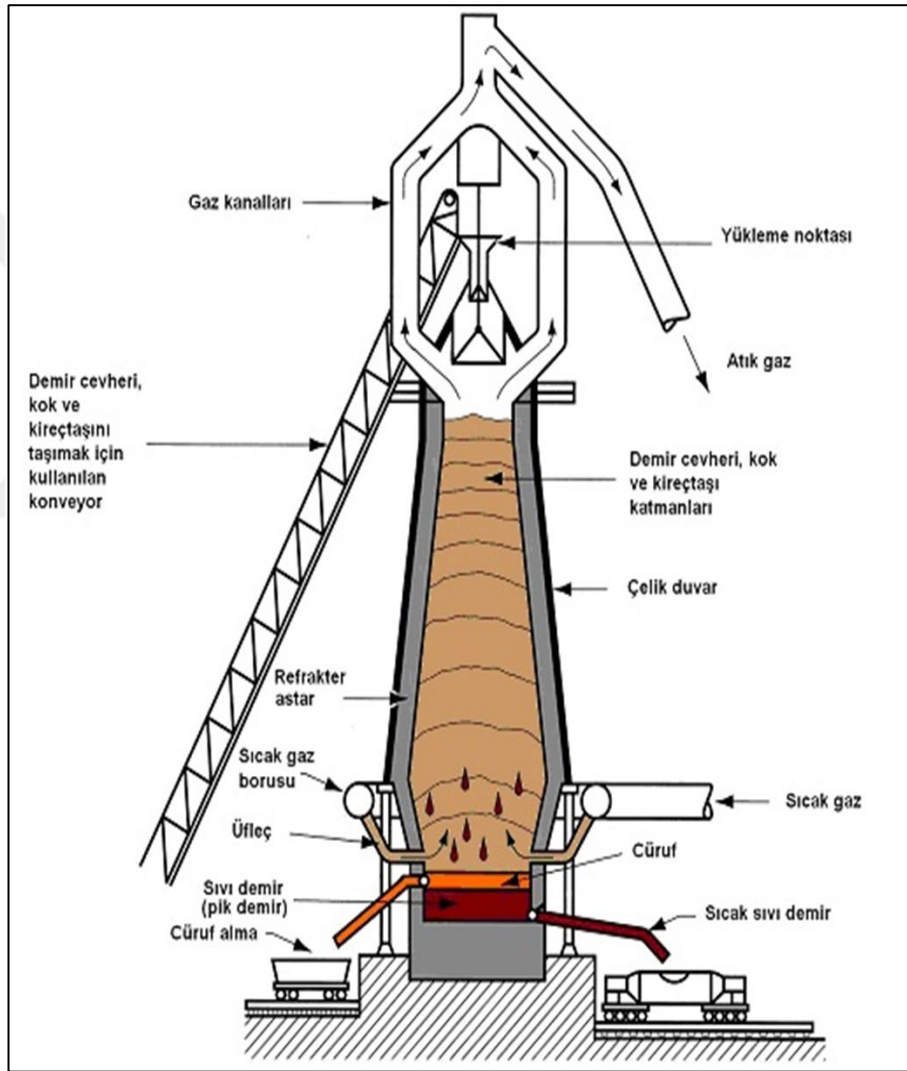
Şekil 1.17.Spine tower maslak

KYB'ler geleneksel betona göre daha fazla serbestlik elde edilmesine izin verdiğinden inşaat sektörünün birçok alanında önemli ölçüde kullanım yeri bulmuştur.(Şekil 1.17)

## 1.8.Öğütülmüş Yüksek Fırın Cürufu

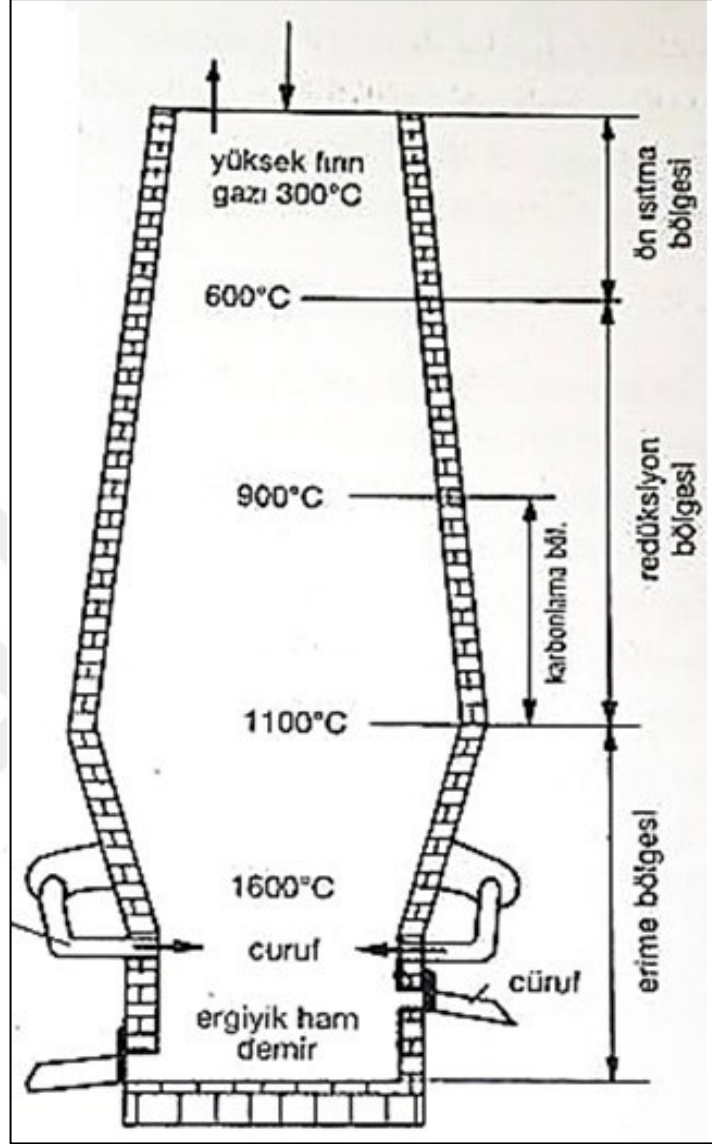
### 1.8.1.ÖYFC'nin elde edilmesi

Yüksek fırın cürufu, demir üretimi esnasında açığa çıkan bir yan üründür. Demir üretiminde demir cevheri, kok kömürü ve kireç taşı ana malzeme olarak kullanılır. Kok kömürünün yakıt olarak kullanıldığı demir cevherinin ayrışma işleminde, kireç taşı yardımcı rol oynar.



Şekil 1.18.Yüksek fırında YFC ve ham demirin elde edilmesi

Şekil 1.18'de görüldüğü gibi sıcaklık 1600°C'ye kadar çıkarılarak demir cevherinden demir oksit, silis, kükürt ve alümin gibi maddelerin ayrışması sağlanır. Bu ayrışma sürecinde YFC'ler ergiyik haldeki demirin üst kısmında toz şeklinde bulunur ve fırından hammadde ile ayrı ayrı tahliye edilirler [31].



Şekil 1.19.Yüksek fırın sıcaklık bölgeleri

Ardından kullanım alanına göre YFC aniden soğutularak granüle hale getirilir ve daha sonrasında öğütülür [31]. Öğütülen bu malzeme beton üretiminde kullanılabilir. (Şekil 1.19)

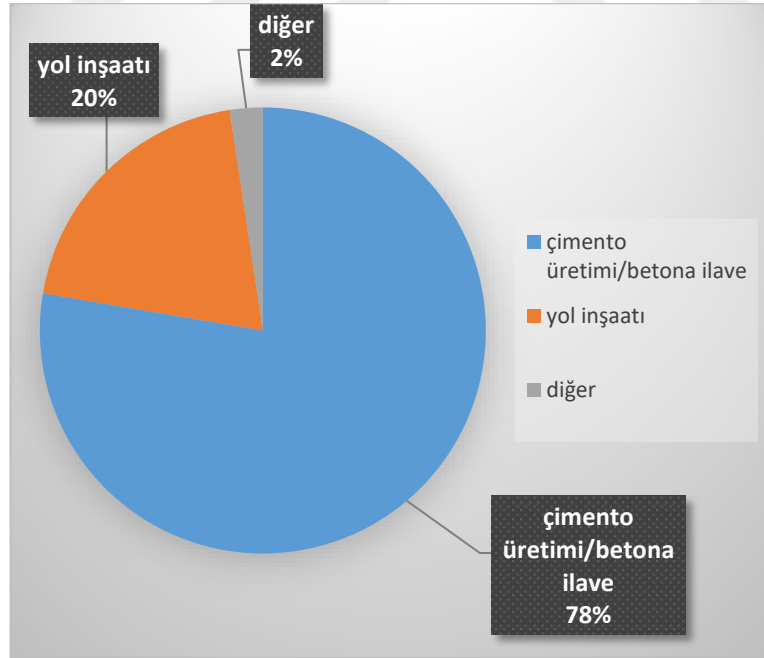
### 1.8.2. ÖYFC'nin kullanım alanları

Ülkemizde Karabük, Zonguldak ve İskenderun'da bulunan 3 demir-çelik tesisinden çıkarılan 2.7 milyon ton granüle yüksek fırın cürufunun tamamına yakın bir bölümü, klinker üretiminde kullanılmak üzere çimento fabrikalarına gönderilmektedir [32]. (Tablo 1.1)

Tablo 1.1.2014 Yılı YFC ile atık ve geri kazanım miktarları (ton)

	Cüruf Miktarı	Atık	Geri Kazanım
<b>Karabük</b>			
Granüle YFC	561,57	0	561,57
Havada soğutulmuş YFC	405,48	0	405,48
<b>Zonguldak</b>			
Granüle YFC	822,627	0	822,627
Havada soğutulmuş YFC	0	0	0
<b>İskenderun</b>			
Granüle YFC	1,342,848	0	1,221,678
Havada soğutulmuş YFC	54,154	53,721	433

Avrupa Cüruf Birliği cürufların geri kazanımıyla ilgili çalışmalar yapmaktadır. 2012 yılında elde edilen istatistiklere göre YFC'nin kullanım alanları Şekil 1.20'de verilmiştir [33].



Şekil 1.20.2016 yılı YFC kullanım alanları

Avrupa Cüruf Birliği verilerine göre 2016 yılında YFC'nin %78'i çimento üretimi ya da beton ilavesi olarak kullanılırken %20'si yol inşaatında agrega malzemesi gibi kullanılarak yan ürün olarak değerlendirilmiştir [33].

Tablo 1.2.YFC'nin Avrupa'daki uygulama alanları

Cüruf	İmalat süreci	Uygulamalar(örnekler)
Parça Cürufu (Hava Soğutmalı Yüksek Fırın Cürufu-ABS)	Kırma ve Eleme Ayrıca Öğütülmemiş cüruf olarak da mevcuttur.	<b>Agrega olarak;</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• bitümlü ve hidrolik bağlayıcı karışımında (asfalt, beton, yol bağlayıcı vb.)</li> <li>• bağlayıcısız karışımında</li> <li>• atıksu arıtmada</li> <li>• demiryolu balastında</li> <li>• dolguda</li> <li>• çatı kaplamada</li> <li>• zemin stabilizasyonunda</li> </ul> <b>İmalat olarak;</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• taş yünü</li> <li>• cam (diğer bileşenlerle karıştırılarak)</li> <li>• gübre</li> </ul>
Granüle Yüksek Fırın Cürufu (GBS/GGBS)	Yüksek basınç, yüksek hacimde su spreyi ile eriyik cürufun hızlı söndürülmesi, granüle cürufun çimento inceliğine öğütülmesi	<b>Agrega olarak;</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• bitümlü ve hidrolik bağlayıcı karışımlarda (asfalt, beton, yol bağlayıcı vb.)</li> <li>• bağlayıcısız karışımlarda</li> <li>• dolguda</li> <li>• kumlamada</li> <li>• zemin stabilizasyonunda</li> </ul> <b>İmalat olarak;</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• çimento ve diğer hidrolik bağlayıcılar</li> <li>• beton (GGBS)</li> <li>• gübre (GGBS)</li> <li>• taş yünü</li> <li>• cam (diğer bileşenlerle karıştırılarak)</li> </ul>

Tablo 1.2'de yapılan çalışmalardan yola çıkılarak; ÖYFC, asfalt betonu, Portland çimento betonu, zemin dolgusu, toprak yol, otopark, yürüme yolu, mimari dekoratif yapılar ve prekast elemanlar gibi birçok alanda kullanıma uygun olduğu gösterilmiştir [32].



Şekil 1.21. Üst yapısında cüruf kullanılmış yol görünümü

Karayolu için üretilmiş betonda cüruf kullanımı, karayolu yapımına dair ilgili şartnamelerde uygunluğu araştırılarak kullanılabilir. Şekil 1.21 bu kullanıma bir örnektir [32].



Şekil 1.22.Cürufun asfalt malzemesi olarak kullanımı

Cürufun bitümlü sıcak asfalt karşısında uygulanmasına ait bir görüntü Şekil 1.22’de görülmektedir [32].



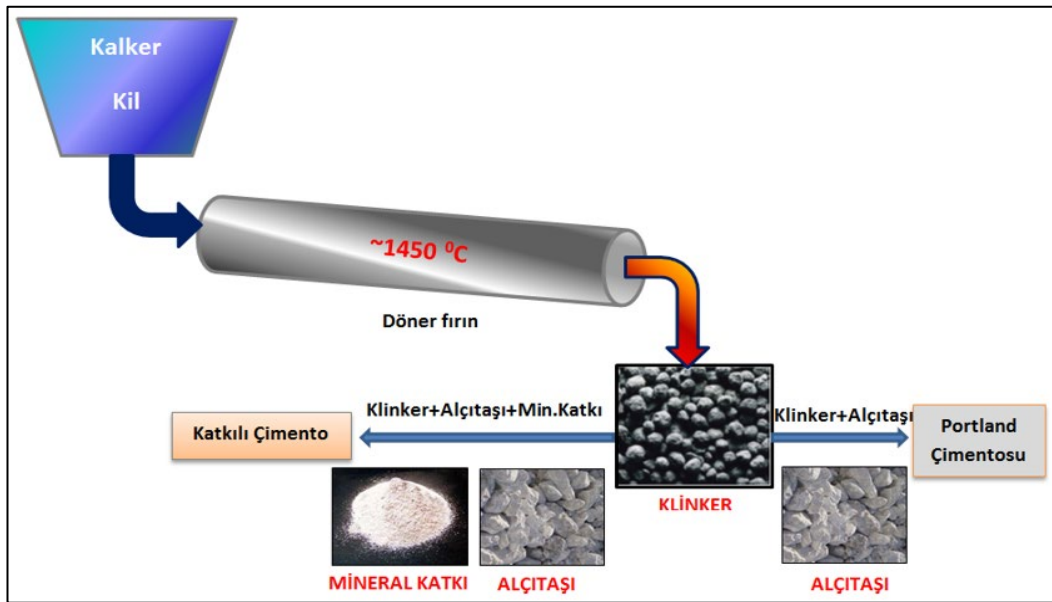


Şekil 1.23.Cürufun demiryolu balastı olarak kullanımı

Balast, platform üzerine konan traverslerin içinde gömülü oldukları kırma taş tabakasına denir [32]. Cürufun balast olarak kullanımına örnek Şekil 1.23’de görülmektedir.

### 1.8.3.ÖYFC’nin Portland çimentosuyla karşılaştırılması

Şekil 1.24’te üretim prosesi verilen Portland çimentosunun üretimi için öncelikle klinker elde edilir. Kireçtaşı (kalker), alümin, demiroksit ve silis bileşimli hammaddelerin uygun oranda karıştırılıp 1400-1500° C sıcaklıkta pişirilmeleri sonucu elde edilen malzemeye klinker denir. Klinker bir miktar alçıtaşı ile öğütülerek Portland çimentosu elde edilir [34].



Şekil 1.24.Portland çimentosu üretim prosesi

Tablo 1.3’de kimyasal özellikleri verilmiştir. Bu tabloya göre ÖYFC Portland çimentosuna oranla daha az kalsiyum oksit(CaO) ve daha fazla silisyum dioksit (SiO<sub>2</sub>) içermektedir. ÖYFC’nin yoğunluğu (3,12) Portland çimentosunun (2,92) yoğunluğundan daha azdır. ÖYFC’nin Portland çimentosundan bir diğer farkı da alüminyum oksit (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) ve kükürt (SO<sub>3</sub>) miktarının yüksek olmasıdır. Bileşenlerin oranı bağlayıcı malzemelerin kimyasal özelliğini etkilediği gibi özellikle cürufun yüksek miktarda SiO<sub>2</sub> içeriği çimentoya göre daha zor öğütülmesine neden olmaktadır [35].

Tablo 1.3.ÖYFC ve Portland çimentosunun kimyasal bileşimleri

	ÖYFC	Portland Çimentosu
SiO <sub>2</sub>	37,29	19,41
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11,76	4,5
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,77	3,49
CaO	33,09	63,09
MgO	7,12	2,51
SO <sub>3</sub>	1,51	3,05
Kızdırma Kaybı	0,25	2,39

YFC, Portland çimentosuna göre daha açık renkli bir yapıya sahiptir. Bunun nedeni çimentoya gri rengini kazandıran C<sub>4</sub>AF bileşeninin YFC’de oluşmamasıdır. Bu renk farklılığı beton üretildikten sonra da görülmektedir. Bu da YFC’li betonların brüt yüzeylerde daha estetik görünmesi açısından kullanım sebebi olarak tercih edilebilir.

Çimentoda erken dayanıma etkisi olan C<sub>3</sub>S bileşeni YFC’de oluşmaz. Bu durum YFC’li betonların erken dayanımının bir miktar düşük, nihai dayanımlarının ise fazla çıkmasını açıklamaktadır [35].

## 2.LİTERATÜR ÇALIŞMASI

### 2.1.Taze Beton Özellikleriyle İlgili Yapılan Çalışmalar

Ünal ve diğ. yaptıkları çalışmada, toz miktarı (çimento+ uçucu kül+ kireçtaşı tozu) sabit tutularak su/bağlayıcı oranları değiştirmişlerdir. 0,37, 0,41, 0,43, 0,46, 0,48 olarak artan oranlarda belirledikleri su/bağlayıcı oranlarında, kimyasal katkı miktarlarını ise su miktarı ile ters orantılı olarak azalan miktarlarda seçmişlerdir. Buna göre Ç-1, Ç-2, Ç-3, Ç-4, Ç-5 (çakıl) ve KT-1, KT-2, KT-3, KT-4, KT-5 (kırma taş) olmak üzere 10 adet KYB üretmişlerdir. S/b oranının artmasıyla; çökmede yayılma deneyinde yayılma çaplarında artış gözlemlenmiştir. Çökmede yayılma, T50 deneyi, V-hunisi ve VT5 deneylerinde ise deney sürelerinin kısaldığını ve L-kutusu değeri ve doldurma kutusu oranında ise artış gözlemlenmiştir. Birim hacim ağırlıklarda ise s/b oranının artmasıyla birlikte azalma olduğunu görmüşlerdir [36].

Topsakal ve diğ. hazırladıkları çalışmada 3 farklı çimento dozajında (350, 400 ve 450 kg/m<sup>3</sup>) üretilen KYB'lerin iki mikser tipine göre (düşey ve yatay eksenli) taze (çökme ve çökmede yayılma değerleri) ve sertleşmiş beton özelliklerinin değişimi (basınç dayanımı) dört farklı zaman süreci için (karıştırma süresinden sonraki 5., 35., 65. ve 95. dakikalarda) incelemiş ve bulanık mantık modeli geliştirmişlerdir. Girdi parametresi olarak, mikser tipi, çimento dozajı ve numune alma zamanı kullanmışlardır. KYB karışımından sonra yapılan deneylerde, çökme ve çökme yayılması değerleri incelendiğinde mikser tipinin etkili olduğunu belirlemişlerdir ve düşey eksenli mikserden Y tipi mikserde göre daha yüksek çökme ve daha homojen karışımlar elde etmişlerdir. Ayrıca çimento dozajının artmasıyla birlikte çökme ve çökme yayılma değerlerinde de artış olduğunu belirlemişlerdir [37].

Şahmaran ve diğ. çalışmalarında 1 kontrol, 4 tane de toplam bağlayıcı miktarının ağırlıkça %40, 50, 60 ve 70'i oranında uçucu kül içeren KYB numuneleri üretmişlerdir. Karışımlarında s/b oranı 0,31-0,37 arasında değişmektedir. Ürettikleri numunelere taze beton deneyi olarak yayılma ve V-hunisi deneylerini uygulamışlardır.

Yayılma testi sonucunda betonun yayılma çapı 730 ile 800 mm, 50 cm yayılma genişliğine ulaşma süresi ise 2 ile 4 sn arasında değişmektedir. Yayılma testi sonucunda bütün karışımların KYB özelliği gösterdiği görülmüştür. V-hunisi testi sonucunda elde edilen akma sürelerine göre de karışımların viskozitesi KYB olma standartlarına göre biraz yüksek olduğu gözlemlenmiştir [7].

## **2.2.Sertleşmiş Beton Özellikleriyle İlgili Yapılan Çalışmalar**

Yılmaz ve diğ. bağlayıcıyla uçucu kül, zeolitli karışım ve yüksek fırın cürufunu %30, %40 ve %50 oranlarında ikame ettirmişlerdir. Toplam 9 ayrı numune hazırlamışlardır. Uyguladıkları taze beton sonuçlarına göre en yüksek yayılma çapı her karışım oranında, YFC kullanılan numunelerde gözlemlenmiştir. Yapılan basınç dayanım deneyine göre, 28 ve 90 günlük nihai dayanım artışı en yüksek %14,91 ile %50 ikameli yüksek fırın cürufu karışımında görülmüştür. %50 ikame oranlı cürufu betonunun 90 günlük basınç mukavemet değeri ile %30 ikame oranlı cürufu betonunun 90 günlük basınç dayanım değerleri yakın gözlemlenmiştir. Bu sebeple özellikle kütle beton dökümlerinde hidrasyon ısısının düşürülmesi amacıyla yüksek fırın cürufunun yüksek oranda kullanımının avantaj sağlayacağını öngörmüşlerdir [38].

Yaprak ve diğ. yaptıkları çalışmada YFC 'yi ağırlıkça %0, %10, %20 ve %30 oranlarında çimento ile ikame ettirmiş ve numuneler hazırlamış, bu numuneler üzerinde çökme, basınç ve yarmada çekme deneyleri uygulamışlardır. Bu çalışma sonucunda YFC miktarı arttıkça beton karışımlarının işlenebilirliğinin azaldığını ve betonda YFC ikame oranı yükseldikçe bütün yaşlarda basınç dayanımlarının %20'ye kadar arttığını, %30 ikame oranında ise azaldığını belirtmişlerdir [39].

Kalkan ve diğ. KYB karışımlarında 50, 100, 150, 200 ve 250 kg miktarında YFC ile çimento ikame ettirmişlerdir. Kontrol betonuyla birlikte 6 ayrı karışım elde etmişlerdir. HA ve s/b oranını sabit tuttıkları numunelerde yayılma, basınç ve yarmada çekme deneyleri uygulamışlardır. YFC ikameli betonların çökme-yayılma değerlerinin kontrol betonuna göre daha fazla olduğu görülmüştür. 7 günlük basınç dayanım değerlerinin YFC ikame miktarı arttıkça azaldığı ve en yüksek basınç değerinin en az YFC ikamesine sahip olan numunenin olduğunu belirlemişlerdir. 28 günlük sonuçlarda ise KYB içerisine konulan YFC'nin basınç dayanımını artırdığı gözlemlenmiştir [40].

### 3.DENEYSEL ÇALIŞMALAR

#### 3.1.Deneylerde Kullanılan Malzemeler

Bu çalışma kapsamında kullanılan malzemeler aşağıdaki gibidir.

##### 3.1.1.Agrega

Çalışma kapsamında üretilen KYB numunelerinde ince agrega olarak doğal kum ve kırma kum, iri agrega olarak ise kırma taş kullanılmıştır. Bu agregalar Adapazarı bölgesinden temin edilmiştir. Kullanılan agregalar Şekil 3.1, Şekil 3.2 ve Şekil 3.3'deki gibidir.



Şekil 3.1.Deneylerde kullanılan kırma kum



Şekil 3.2.Deneylerde kullanılan kırma taş



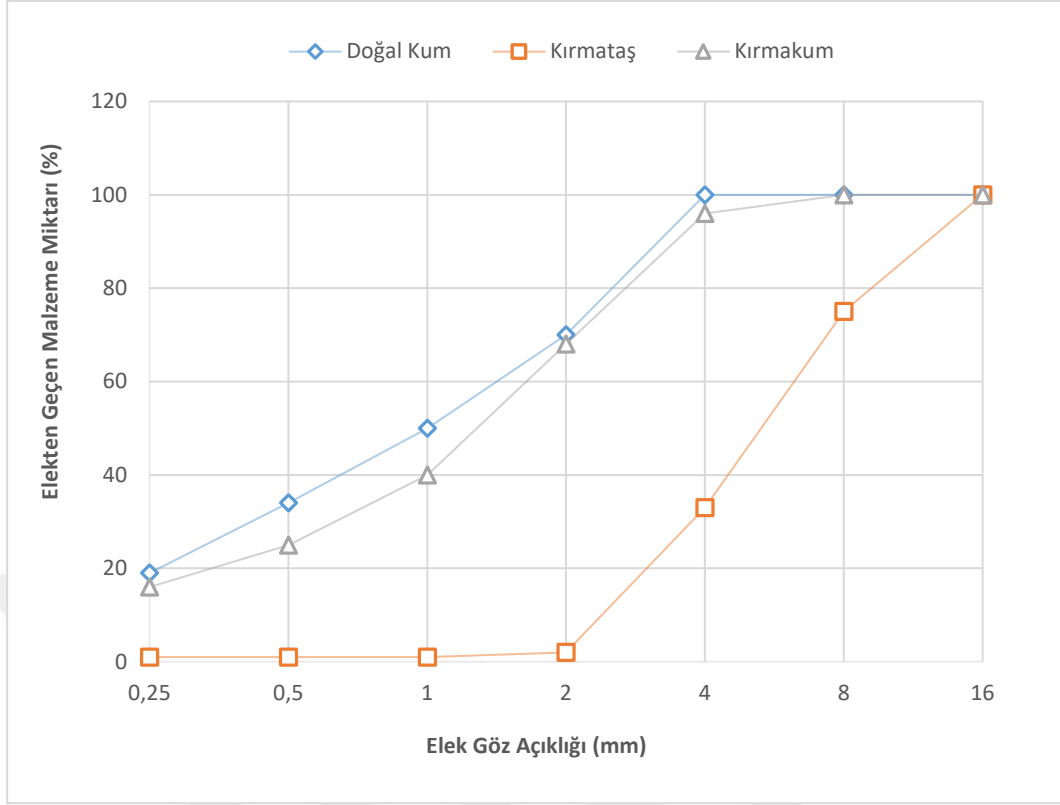
Şekil 3.3.Deneylerde kullanılan doğal kum

TS EN 932-1 standardı esas alınarak hazırlanan doğal kum, kırma kum ve kırma taş bileşiminin granülometrik dağılımını bulabilmek için numuneler üzerinde 2,25 – 16 mm elek takımı kullanılmıştır [41]. Elek analizi TS EN 933-1 standardına uygun olarak yapılmıştır [42].

Tablo 3.1.Kullanılan agregaların granülometrik bileşimleri

Elek Analizi Sonuçları			
Elek Boyutu (mm)	Elek Altına Geçen Malzeme (%)		
	Doğal Kum	Kırmetaş	Kırnakum
16	100	100	100
8	100	75	100
4	100	33	96
2	70	2	68
1	50	1	40
0,5	34	1	25
0,25	19	1	16
İncelik Modülü	2,28	4,88	2,55

Tablo 3.1’de görüldüğü gibi doğal kum 2,28, kırma kum 2,55 ve kırma taş 4,88 incelik modülüne sahiptirler. Dmaks. 12,40 mm olarak bulunmuştur. Karışımın içerisindeki her agregaya türünün granülometrik dağılımı Şekil 3.4’e verilmiştir.



Şekil 3.4.KYB üretiminde kullanılan agregaların granülometrik dağılımı

### 3.1.2.Çimento

Beton numunelerin üretiminde kullandığımız çimento Çanakkale bölgesi CEM 1 42,5 R (PÇ 42,5) çimentosu olup, Akçansa Çimento Sanayi ve Ticaret A.Ş.'den temin edilmiştir. Kullanılan çimento Şekil 3.5'te görüldüğü gibidir.



Şekil 3.5.Deneylerde kullanılan çimento

Kullanılan çimentoya ait mekanik, kimyasal ve fiziksel özellikler Tablo 3.2, 3.3, 3.4'te verilmiştir.

Tablo 3.2.Kullanılan çimentonun mekanik özellikleri

Mekanik Özellikler	
Basınç Dayanımları (MPa)	(40x40x160mm küp numuneler için)
2 Günlük	38,6
7 Günlük	47,0
28 Günlük	57,4

Tablo 3.3.Kullanılan çimentonun kimyasal bileşimi

Kimyasal Özellikler	
İncelenen Maddeler	Elde Edilen Değerler (%)
SiO <sub>2</sub>	19,41
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,50
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,49
CaO	63,09
MgO	2,51
SO <sub>3</sub>	3,05
Çözünmeyen Kalıntı	0,30
Kızdırma Kaybı	2,39
Serbest Kireç	1,42

Tablo 3.4.Kullanılan çimentonun fiziksel özellikleri

Fiziksel Özellikler	
İncelenen Özellikler	Elde Edilen Değerler
Priz Başlangıcı (dakika)	150
Priz Sonu (dakika)	205
Hacim Sabitliği (mm)	1,00
Özgül Yüzey (cm <sup>2</sup> / gr)	3814
Özgül Ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> )	3,12



### 3.1.3.Yüksek fırın cürufu

Bu çalışmada kullanılan YFC, TS EN 15167-1 standardına uygun olarak, İskenderun Demir-Çelik Fabrikası'na ait olup, Nuh Çimento Sanayi ve Ticaret A.Ş. 'den temin edilmiştir [43]. Kullanılan ÖYFC Şekil 3.6'da görüldüğü gibidir.



Şekil 3.6.Deneylerde kullanılan öğütülmüş yüksek fırın cürufu

Öğütülmüş yüksek fırın cürufuna ait fiziksel ve kimyasal özellikler Tablo 3.5'de verilmiştir.

Tablo 3.5.Yüksek fırın cürufu kimyasal bileşimi

Kimyasal Analiz Sonuçları	%	Standart
SiO <sub>2</sub>	37,29	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11,76	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,77	
CaO	33,09	
MgO	7,12	maks. 18
SO <sub>3</sub>	1,51	maks.2,5
K <sub>2</sub> O	1	
Na <sub>2</sub> O	0,15	
Toplam Alkali Na <sub>2</sub> O+0,658 K <sub>2</sub> O	0,81	
Kızdırma Kaybı	0,25	maks.3
Klorür	0,0075	maks.0,1
Sülfür	0,1	maks.2,5

Tablo 3.6.Yüksek fırın cürufu fiziksel özellikleri

Fiziksel Analiz Sonuçları		
Nem Muhtevası (%)	0,38	maks.1
Özgül Ağırlık (g/cm <sup>3</sup> )	2,92	
Özgül Yüzey (Blaine, cm <sup>2</sup> /g)	4537	min.2750
32 mm elek bakiye (%)	2,1	
45 mm elek bakiye (%)	0,1	
90 mm elek bakiye (%)	0	

#### 3.1.4.Hiperakışkanlaştırıcı katkı

Hazırladığımız beton numunelerinin karışımında KYB özelliğini kazanması için hiper akışkanlaştırıcı katkı kullanılmıştır. Chryso Yapı Kimyasalları'nın ürünü olan Chryso Delta 489 W katkısı Soylular Beton Firması'ndan temin edilmiştir. Hiper akışkanlaştırıcı katkı Şekil 3.7'de görüldüğü gibidir.



Şekil 3.7. Deneylerde kullanılan hiper akışkanlaştırıcı katkı

Hiper akışkanlaştırıcıya ait özellikler Tablo 3.7'de verilmiştir.

Tablo 3.7.Kullanılan hiper akışkanlaştırıcı katkı özellikleri

Katkı Adı	Görünüm	Renk	Yoğunluk(gr/cm <sup>3</sup> )	pH	Klorür İçeriği
CHRYSO®Delta 489W	Sıvı	Kahverengi	1,07±0,02	8,0±1	<%0,1

### 3.2.Deneylerde Kullanılan Aletler

Numunelerin ölçülmesinde, karıştırılmasında, kürlenmesinde ve deneylerin yapımında kullanılan aletlerin tamamı bu bölümde ele alınmıştır.

#### 3.2.1.Laboratuvar

Çalışmaların tamamı Kocaeli Üniversitesi Yapı Malzemesi Laboratuvarı'nda yapılmıştır. (Şekil 3.8)



Şekil 3.8. Kocaeli Üniversitesi yapı malzemesi laboratuvarı

### 3.2.2.Elek takımı

Kırma taş, kırma kum ve doğal kumun granüloметриk bileşiminin bulunması için TS EN 932-1 standardına göre hazırlanmış olan numuneler üzerinde Şekil 3.9’da verilen 2,25 – 16 mm elek takımı kullanılmıştır. Elek analizi deneyi TS EN 933-1 esas alınarak yapılmıştır[41,42].



Şekil 3.9.2,25-16 mm elek takımı

### 3.2.3.Hassas ve elektronik terazi

Malzemelerin, karışım tablosuna göre yapılan ölçümlerinin tamamı Şekil 3.10’da görülen hassas ve terazi elektronik terazide yapılmıştır.



Şekil 3.10.Kullanılan teraziler

### 3.2.4.Beton mikseri

Hazırlanan karışımlar Şekil 3.11’de gösterilen, yukarıdan karıştırma özelliği olan 56 dm<sup>3</sup> kapasiteli laboratuvar tipi beton mikserinde karıştırılmıştır.



Şekil 3.11.Beton mikseri

### 3.2.5.Slump hunisi

Beton mikserinde karıştırılan beton hamurunun KYB olup olmadığını tayin edebilmek için slump hunisinde yayılma deneyi yapılmıştır. Deney esnasında kullanılan slump hunisi Şekil 3.12’de verilmiştir.



Şekil 3.12.Yayılma deneyinde kullanılan slump hunisi

### 3.2.6.Birim ağırlık kovası

Beton mikserinde karıştırılan beton numunelerinin birim ağırlıklarını hesaplayabilmek için birim ağırlık kabı kullanılmıştır. Önce boş kabın ağırlığı ölçülüp ardından numunelerle birlikte tartımlar yapılmış daha sonra gerekli formüllerle hesaplar yapılarak numunelerin birim ağırlıkları bulunmuştur. Kullanılan birim ağırlık kabı Şekil 3.13'te verilmiştir.



Şekil 3.13.Kullanılan birim ağırlık kovası

### 3.2.7.Kalıplar

Hazırlanan numuneler sabit süreler ile beton mikserinde karıştırıldıktan sonra, basınç ve yarmada çekme deneyleri için Şekil 3.14, Şekil 3.15 ve Şekil 3.16'da verilen 100 mm x 200 mm'lik silindir, eğilme deneyi için 100 mm x 400 mm'lik prizma ve aşınma deneyi için 71 mm x 71 mm'lik küp kalıplara dökülmüştür.



Şekil 3.14.Silindir kalıp



Şekil 3.15 .Prizma kalıp



Şekil 3.16.Aşındırma kalıpları

### 3.2.8.Kür odası ve kür havuzları

Numuneler  $20 \pm 2$  °C ve %40-60 bağıl neme sahip olan laboratuvar koşullarında, nemli bezle kür edilerek 3 gün boyunca bekletilmiş, daha sonra kalıplardan çıkarılmıştır. Kalıplardan çıkarılan numuneler Şekil 3.17’de verilen kür havuzlarında bekletilmiştir.



Şekil 3.17.Kür odası ve kür havuzları

### 3.2.9. Isıtıcı ve havalandırma

Basınç deneyi yapabilmek için hazırlanan silindir başlıkların üst kısımlarına kükürt başlık uygulanmıştır. Bu başlık yapımı için yüksek sıcaklıkta kullandığımız ısıtıcı ve çıkan gazların dışarıya atılması için kullandığımız havalandırma Şekil 3.18’de verilmiştir.



Şekil 3.18. Isıtıcı ve havalandırma

### 3.2.10. Basınç ve yarmada çekme deney aleti

Kür havuzlarında 7, 28 ve 90 gün bekletilen beton numunelerinin basınç ve yarmada çekme deneyleri Şekil 3.19’de verilen Baz Makina Marka 3000 kN kapasiteli deney aletinde yapılmıştır.



Şekil 3.19. Basınç ve yarmada çekme deney aleti



### 3.2.11.Eğilme deney aleti

Kür havuzlarında 7, 28 ve 90 gün bekletilen beton numunelerinin eğilme deneyleri Şekil 3.20’de verilen Baz Makina Marka 3000 kN kapasiteli deney aletinin eğilme presi kısmında 4 noktalı olarak yapılmıştır.



Şekil 3.20.Eğilme deney aleti

### 3.2.12.Aşınma (Böhme) deney aleti

28 ve 90 gün bekletilen numunelerin aşınma (Böhme) deneyi, 30 ( $\pm 1$ ) devir/dk hızla dönen 750 mm çaplı yatay aşındırma diski, kaldırma kolu, numune yükleme ağırlığı, karşı ağırlık ve numune tutucu aparattan oluşan Şekil 3.21’de verilen cihazda yapılmıştır.



Şekil 3.21.Aşınma (Böhme) deney aleti

### 3.2.13.Kumpas

Aşınma (Böhme) deneyi yapılmadan önce ve deney esnasında, hazırlanan 71mm x 71mm'lik küp numunelerin yüzey ölçümleri Şekil 3.22'de verilen kumpas kullanılarak yapılmıştır.



Şekil 3.22.Kumpas

### 3.3.Beton Karışımları

ÖYFC ve çimento miktarlarının değişik oranlarda kullanılmasıyla üretilen KYB'lerin taze halde işlenebilirlik, sertleşmiş halde ise mekanik özelliklerinin ve aşınmaya karşı gösterdikleri direncin incelendiği bu çalışmada, 7 farklı karışımda beton tasarımı yapılmış ve bu beton karışımlarının “kendiliğinden yerleşebilirlik” özelliklerini sağlayıp sağlamadıklarına taze haldeki yayılma deneyi ile bakılmıştır.

Beton üretiminde TS 802 de yer alan karışım hesapları esas alınmıştır [44]. C45 beton sınıfına sahip olarak hazırladığımız karışımlarda doğal kum, kırma kum, kırma taş olmak üzere 3 farklı sınıfta agrega kullanılmıştır. Karışımlarda s/b oranı ve HA oranı sabit tutulmuştur. HA, karışıma su ile çözelti oluşturduktan sonra dahil edilmiştir. 1m<sup>3</sup> karışım için toplam ince agrega (kırmakum + doğal kum) 1,100 kg, iri agrega (kırma taş) 580 kg olarak alınmıştır. ÖYFC, çimento ile ağırlıkça %15, %30, %45, %60, %75, %90 gibi yüksek oranlarda ikame edilerek, kontrol betonu ile birlikte 7 ayrı karışım elde edilmiştir. Beton kodları Tablo 3.8'de verilmiştir.

Tablo 3.8.Beton karışımlarının kodları

	BETON KODU	AÇIKLAMA
1	KYB00	ÖYFC İÇERMEYEN NUMUNE
2	KYB15	%15 ÖYFC + %85 ÇİMENTO
3	KYB30	%30 ÖYFC +%70 ÇİMENTO
4	KYB45	%45 ÖYFC +%55 ÇİMENTO
5	KYB60	%60 ÖYFC + %40 ÇİMENTO
6	KYB75	%75 ÖYFC + %25 ÇİMENTO
7	KYB90	%90 ÖYFC + %10 ÇİMENTO

Üretilen beton karışımlarının 1 m<sup>3</sup> için kullanılan miktarları Tablo 3.9’da belirtilmiştir.

Tablo 3.9.Yüksek oranda ÖYFC ile üretilen KYB karışımının 1 m<sup>3</sup> için malzeme miktarları

	Özgül Ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> )	KYB00	KYB15	KYB30	KYB45	KYB60	KYB75	KYB90
Çimento (kg/m <sup>3</sup> )	3,16	450	382,5	315	247,5	180	112,5	45
YFC (%)		0	15	30	45	60	75	90
YFC (kg/m <sup>3</sup> )	2,75	0	67,5	135	202,5	270	337,5	405
Su (kg/m <sup>3</sup> )	1,00	193,5	193,5	193,5	193,5	193,5	193,5	193,5
Su/Çimento		0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43
İnce Agregat 1 Kırmakum (kg/m <sup>3</sup> )	2,66	650	650	650	650	650	650	650
İnce Agregat 2 Doğal Kum (kg/m <sup>3</sup> )	2,66	450	450	450	450	450	450	450
İri Agregat (kg/m <sup>3</sup> )	2,69	580	580	580	580	580	580	580
Hiper Akışkanlaştırıcı (%)		1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Hiper Akışkanlaştırıcı (kg/m <sup>3</sup> )	1,23	6,75	6,75	6,75	6,75	6,75	6,75	6,75
Hava (%)		1,80	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80
Düzeltilmiş Su		212,82	212,82	212,82	212,82	212,82	212,82	212,82

### 3.4.Deney Numunelerinin Üretimi

Geleneksel betonlara göre KYB'lerin tasarımı ve üretimi farklılık göstermektedir. Her numuneye eşit şartlar tanımak ve doğru sonuçlar elde etmek adına, karışıma dahil edilen malzemelerin beton mikserine belli bir sıra ile konulması ve karıştırma işleminin belli bir düzen içerisinde olması gerekir. Bu durumda bir sıralama geliştirilmiştir. Bu prosedüre göre aşağıdaki sıra takip edilerek beton bileşenlerinin mikserine konulması ve karıştırma zamanlarına titizlik gösterilmesi gerekmektedir.

Bu işlemler aşağıdaki sıra ile gerçekleştirilmiştir;

- Beton üretiminde kullanılacak malzemeler Tablo 3.9'da verilen karışım miktarları esas alınarak ayrı ayrı elektronik terazide tartılarak hazırlanır.
- Beton karışımına dahil olan tüm malzemeler 56 dm<sup>3</sup> 'lük beton mikserinde karıştırmaya tabi tutulur.
- İlk olarak ince agrega, iri agrega ve çimento 30 sn. karıştırılarak homojen bir kuru karışım elde edilir.
- Daha sonra karışım suyu ile hiperakışkanlaştırıcı katkı kendi içerisinde karıştırılarak karışıma ilave edilir ve 3 dk daha karıştırma yapılır.(Şekil 3.23)

Her numune için aynı işlem uygulanır.



Şekil 3.23.Beton mikserinde karıştırılarak hazırlanan beton

Üretilen betonlar yağlanarak hazırlanmış olan, Şekil 3.24’de verilen 100 mm x 400 mm’lik prizma, 100 mm x 200 mm’lik silindir, 71 mm x 71 mm’lik küp kalıplara dökülmüştür.



Şekil 3.24. Yağlanarak hazırlanan kalıplar ve kalıplara dökülen numuneler

Ardından numuneler  $20\pm 2^{\circ}\text{C}$  ve %40-60 bağıl neme sahip olan laboratuvar koşullarında, nemli bezle kür edilerek 3 gün boyunca bekletilmiş, daha sonra kalıplardan çıkarılmıştır. Kalıplardan çıkarılan numuneler Şekil 3.25’de verilen kür havuzlarında bekletilmiştir.



Şekil 3.25..Kür havuzlarında bekletilen numuneler

### 3.5.Deney Yöntemleri

Farklı oranlarda ÖYFC ile üretilen KYB'lerin taze haldeki işlenebilirlik, sertleşmiş halde ise mekanik özelliklerinin ve aşınmaya karşı gösterdiği direncin incelendiği bu çalışmada yapılan deneyler aşağıdaki yöntemler esas alınarak gerçekleştirilmiştir.

#### 3.5.1.Taze beton deneyleri

##### 3.5.1.1. Çökme-Yayılma (Slump-flow) deneyi

Bu deney taze haldeki KYB'nin deformasyon hızının gözlenmesini ve numunenin kendi ağırlığı ile yayılarak oluşturacağı çapın ölçülmesini kapsamaktadır. Betonun kendiliğinden yayılma özelliğini, yani “doldurma yeteneğini” ölçmek için kullanılan en yaygın yöntemdir. Deney aparatı olarak çökme (slump) hunisi kullanılmıştır.

Yayılma tablası üzerine konulan slump hunisi içerisine, beton şişleme yapılmadan doldurulduktan sonra, slump hunisi yukarıya çekilerek betonun herhangi bir sarsma yapmadan kendi ağırlığı ile yayılması beklenmiştir. Yayılma çapları üç farklı noktadan ölçülerek kaydedilmiştir. Ölçüm neticesinde alınan değerlerin ortalaması 550 mm ile 850 mm arasında olduğu görülerek EFNARC'a (European Federation of National Trade Associations) göre “kendiliğinden yerleşebilirlik” kriterini sağladığı kanaatine varılmıştır. Bununla beraber, bir kronometre ile 50 cm yayılma değeri için geçen zaman belirlenmiştir [20].(Şekil 3.26)



Şekil 3.26.Yayılma deneyi numunesi

### 3.5.1.2. Birim ağırlık ve boşluk oranının tayini deneyi

Karışım hazırlandıktan sonra beton numunelerinin birim ağırlık değerlerinin belirlenmesi amacıyla birim ağırlık deneyi uygulanır. Öncelikle birim ağırlık kovası boş olarak tartılır (W1). Ardından su ile doldurulur. Tam olarak dolduğu, üzerine cam plaka sürülerek camın altında hava kabarcığı kalmamasıyla anlaşılır. Su dolu olarak tartılır. Birim ağırlık kovasının hacmi, su dolu ağırlığından, boş ağırlığı çıkarılarak suyun birim ağırlığına (1 gr/cm<sup>3</sup>) bölünmesiyle bulunur. (V) Birim ağırlık kovasının hacmi belirlendikten sonra hazırlanan beton karışımı kovanın içine doldurulur ve dolu kova tartılır.(W2) Daha sonra Denklem 3.1’de verilmiş olan formülle numunelerin birim ağırlıkları hesaplanır.

$$B_s = (W_2 - W_1) / V \quad (3.1)$$

B<sub>s</sub>= Betonun birim ağırlığı (gr/cm<sup>3</sup>)

W<sub>2</sub>=Dolu kap ağırlığı (gr)

W<sub>1</sub>=Kabın darası (gr)

V= Kabın hacmi

### 3.5.2.Sertleşmiş beton deneyleri

#### 3.5.2.1. Basınç dayanımı deneyi

Beton basınç dayanım deneyi, TS EN 12390-3 standardına uygun olarak 100 mm x 200 mm ebatındaki standart boyutlu silindir numuneler üzerinde 7. gün, 28. gün, 90. gün olmak üzere 3 farklı yaşta uygulanmıştır [45]. Basınç deneyi yapılacak olan silindir numuneler için deney yapılmadan önce üst yüzey pürüzlülüğünü gidermek ve daha doğru sonuçlar elde edebilmek için Şekil 3.27’de verildiği gibi kükürt başlıklar yapılmıştır.



Şekil 3.27.Silindir numunelere kükürt başlık yapma işlemi

Her seri için basınç dayanımı deneyi 3 adet numune üzerinde gerçekleştirilmiş ve bu üç numunenin ortalaması alınarak ilgili yaşlardaki basınç dayanımları belirlenmiştir. Basınç dayanım deneyleri Baz Makina Marka 3000 kN kapasiteli deney aleti ile yapılmıştır. (Şekil 3.28)



Şekil 3.28.Basınç dayanım deneyi



### 3.5.2.2. Yarmada çekme dayanım deneyi

Beton yarmada çekme dayanım deneyi, TS EN 12390-6 standardına uygun olarak 100 mm x 200 mm ebatındaki standart boyutlu silindir numuneler üzerinde 7. gün, 28. gün, 90. gün olmak üzere 3 farklı yaşta uygulanmıştır [46].(Şekil 3.29)



Şekil 3.29.Yarmada çekme deneyi için hazırlanmış numune

Yarmada çekme deneyinde yatay olarak pres tablaları arasına yerleştirilen, numunenin altına ve üstüne yerleştirilen plakalara dik yönde basınç yüklemesi uygulanarak gerçekleştirilmektedir. Şekil 3.27 da görüldüğü gibi yarmada çekme dayanım deneyleri Şekil 3.30'de verilen Baz Makina Marka 3000 kN kapasiteli deney aleti ile yapılmıştır.



Şekil 3.30.Yarmada çekme dayanım deneyi

### 3.5.2.3. Eğilme dayanım deneyi

Beton kirişin yerleştirildiği mesnetlerden L/3 uzaklıktaki iki noktadan yüklenmesi durumundaki deney yöntemidir.

Beton eğilme dayanım deneyi, TS EN 12390-5 standardına uygun olarak 100 mm x 400 mm ebatındaki standart boyutlu prizma numuneler üzerinde 7. gün, 28. gün, 90. gün olmak üzere 3 farklı yaşta uygulanmıştır[47]. Deney prizma numunenin yerleştirildiği mesnetlerden L/3 uzaklıktaki iki noktadan yüklenmesiyle, 4 noktalı eğilme deneyi olarak yapılmıştır.(Şekil 3.31)



Şekil 3.31.Eğilme dayanım deneyi

### 3.5.2.4. Aşınma (Böhme) deneyi

Aşınma (Böhme) deneyi ise 30 ( $\pm 1$ ) devir/dk hızla dönen, 750 mm çaplı yatay aşındırma diski, kaldıraç kolu, numune yükleme ağırlığı, karşı ağırlık ve numune tutucu aparattan oluşan cihazda yapılmıştır. TS2824 e göre hazırladığımız kenar uzunlukları 71mm  $\pm 1,5$ mm olan numunelerin birbirini takip eden 4 yüzeyi aşınmaya tabi bırakılmıştır. Deney için 20 $\pm 0,5$  gr aşındırma tozu (alüminyum oksit) cihazın aşındırma yüzeyine serpilir ve numunenin üst yüzeyi numune tutucu aparatın yan yüzeyine gelecek şekilde yerleştirilir. Birbirini takip eden 4 yüzey aşınmaya tabi

tutulur. Bu 4 yüzeyin her biri için otomatik sayaçlı olan cihaz 22 devir yapar. Bu 4 tur sonunda aşındırma tozu makine yüzeyinden temizlenir ve yeni aşındırma tozu serpilir. Numune tartılır, aynı işlem 4 defa tekrarlanır. Toplam 16 defa numuneye aşındırma işlemi uygulanır. Numunelerin yüzeylerinde meydana gelen kısıalma ve ağırlıkça azalma ölçülür ve hacim hesabı yapılır. Numunenin tabanı 50 cm<sup>2</sup> (71mmx71mm) olduğundan tüm değerlendirmeler bu taban alanı esas alınarak yapılmıştır. Aşınma deneyi TS 699 standardına göre yapılmıştır [48].(Şekil 3.32)



Şekil 3.32.Aşınma (Böhme) deneyi

## 4.DENEY SONUÇLARI

### 4.1.Taze Beton Deneyleri

Bir betonun KYB olarak değerlendirilmesi için Abrams Konisinde deney yapılarak elde edilen yayılmasının 550 ile 850 mm arasında olması gerektiği bilinmektedir [1]. EFNARC'a (European Federation of National Trade Associations) göre bu yayılma değeri 3 ayrı sınıfta değerlendirilmiştir. 1.sınıf (SF1) 550 ile 650mm, 2. Sınıf (SF2) 660 ile 750mm, 3. Sınıf (SF3) 760 ile 850mm arasında olmalıdır. Yayılma çapının 50 cm genişliğe erişme süresi (T50) ve huniden çıkış süresi ise 2 ayrı sınıfta değerlendirilmiştir. 1.sınıf (VS1) in T50 süresi 2 s'den az, huniden çıkışı 8 s den az ve 2.sınıf (VS2) için T50 süresi 2s den fazla, huniden çıkış süresi 9-25s arasında olmalıdır [20]. EFNARC'a göre yapılan yayılma değerleri aralıkları Tablo 4.1'de verilmiştir.

Tablo 4.1.EFNARC'a göre yayılma değerleri

Sınıf	Slump Değeri
SF1	550-650
SF2	660-750
SF3	760-850

Yayılma deney sonuçlarını tayin etmek için, yayılan beton 3 ayrı noktadan ölçülmüştür, ölçülen bu değerlerin ortalaması alınmıştır. Her bir karışım için hesaplanan yayılma çapları, birim ağırlık değerleri, boşluk oranları ve T50 süreleri Tablo 4.2 'de verilmiştir.

Tablo 4.2.ÖYFC ile üretilen KYB’lerin taze beton deney sonuçları

Beton	Çimento	YFC	Çökme-Yayılma	Birim Ağırlık	Hava
Kodu	(kg)	(kg)	(mm)	(kg/m <sup>3</sup> )	%
			<b>T50s</b>		
KYB00	450	0	Y=686	2,403	4,8
			t=5		
KYB15	382,5	67,50	Y=704	2,395	3,2
			t=6		
KYB30	315	135	Y=712	2,375	2,1
			t=7		
KYB45	247,5	202,5	Y=734	2,356	2,3
			t=9		
KYB60	180	270	Y=693	2,337	2,23
			t=10		
KYB75	112,5	337,5	Y=727	2,319	1,2
			t=11		
KYB90	45	405	Y=746	2,305	1
			t=12		

Yayılma değerlerinin EFNARC’a (European Federation of National Trade Associations) göre SF2 sınıfını sağladığı Tablo 4.2 ’de görülmektedir. En fazla yayılma değeri KYB90 numunesinde, en düşük yayılma değeri ise kontrol betonunda elde edilmiştir. Yayılma değerlerinin KYB45’e kadar önce artıp sonra azaldığı ve daha sonra tekrar arttığı gözlemlenmiştir.

T50 sürelerinin ise ÖYFC ikamesi arttıkça uzadığı görülmektedir. Yani ÖYFC ikamesinin işlenebilirliği olumsuz yönde etkilediği anlaşılmaktadır.

Yapılan hesaplara göre numunelerin ÖYFC ikamesi arttıkça birim ağırlıklarının azaldığı görülmüştür. Tablo 4.2’ ye göre ÖYFC ikamesi olmayan kontrol betonu ise en yüksek hava yüzdesine sahiptir.

## 4.2.Sertleşmiş Beton DeneYleri

### 4.2.1.Basınç dayanımı

TS EN 12390-3 standardına uygun olarak 100 mm x 200 mm ebatındaki standart boyutlu silindir numuneler üzerinde 7. gün, 28. gün, 90. gün olmak üzere 3 farklı yaşta uygulanmıştır [45]. Kırılma şekilleri Şekil 4.1’de verilmiştir.



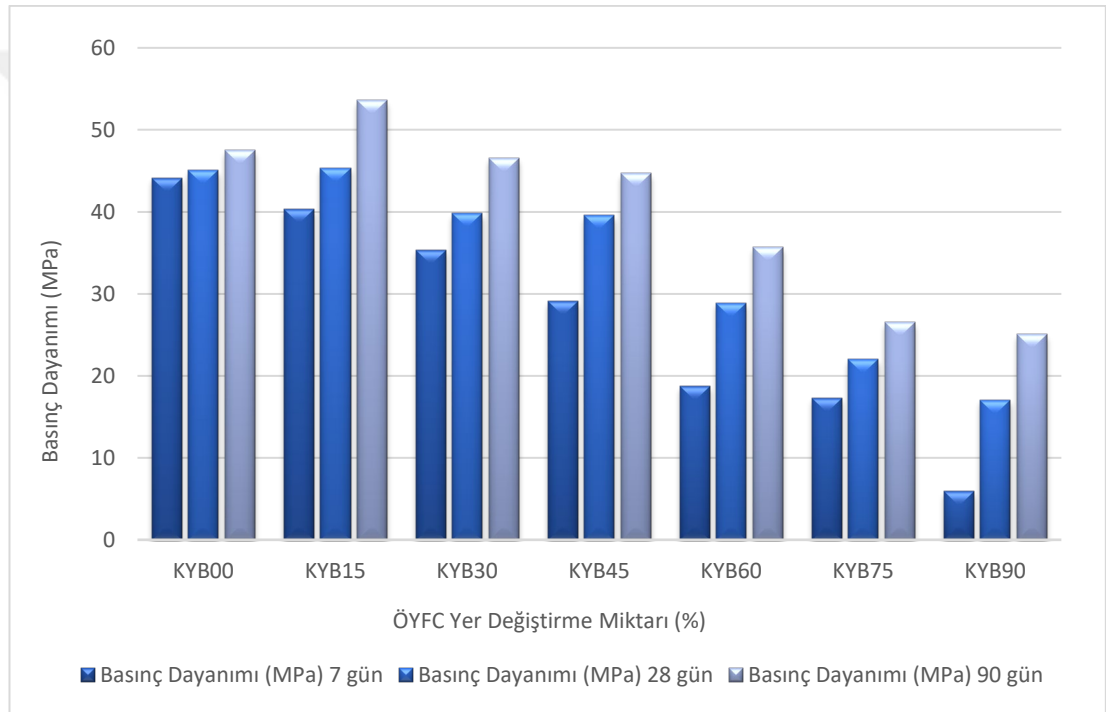
Şekil 4.1.Sırasıyla numunelerin basınç dayanımı deneyi kırılma şekilleri

7, 28 ve 90 günlük beton basınç dayanım değerleri Tablo 4.3’te verilmiştir.

Tablo 4.3.ÖYFC ile üretilen sertleşmiş betonların 7 ve 28 günlük basınç dayanım değerleri

Beton Kodu	Basınç Dayanımı (MPa)		
	7 gün	28 gün	90 gün
KYB00	44,15	45,08	47,54
KYB15	40,27	45,36	53,56
KYB30	35,34	39,78	46,55
KYB45	29,06	39,58	44,66
KYB60	18,72	28,89	35,66
KYB75	17,31	21,95	26,51
KYB90	5,87	17,06	25,04

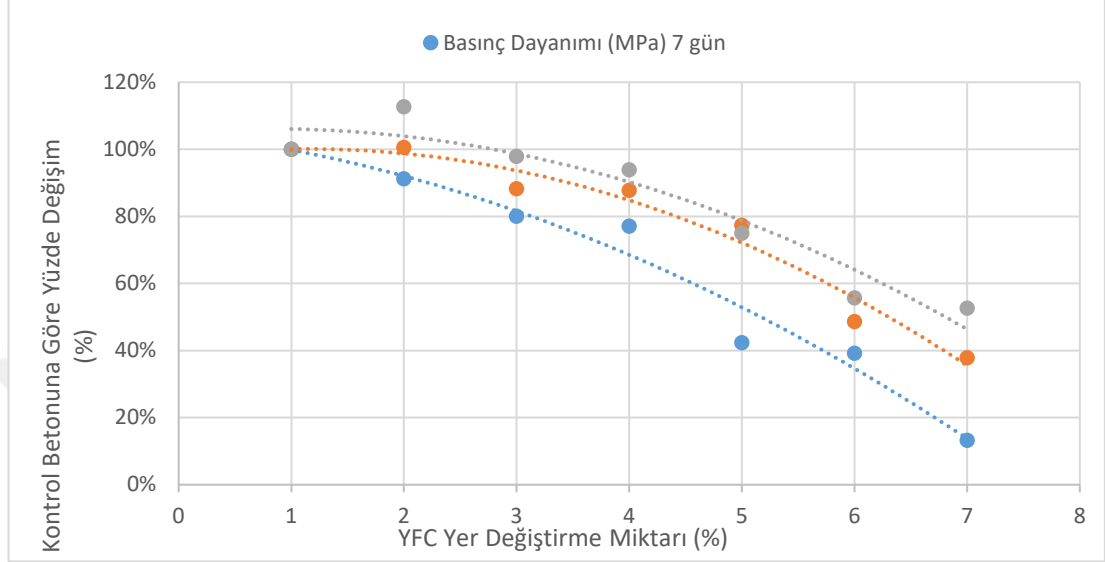
Tablo 4.3' te görüldüğü gibi 7 günlük en yüksek basınç dayanımına sahip olan değer, 44,15 MPa ile kontrol numunesine aittir. 28 ve 90 günlük numunelerde ise en yüksek basınç dayanımı en az ÖYFC ikamesine sahip olan KYB15 numunesindedir. ÖYFC ikamesi en fazla olan KYB90 numunesi ise 7, 28 ve 90 günlük için en düşük dayanıma sahiptir. Ancak tablodan anlaşıldığı üzere ÖYFC içeren numunelerin nihai dayanım artışları referans numunesine oranla daha fazladır. KYB00 ve KYB15 numuneleri C45 olarak tasarladığımız dayanıma 28 günde erişirken, KYB30 ve KYB45 numuneleri ise 90 günde ulaşmıştır. Bunun yanı sıra en fazla ÖYFC ikamesine sahip olan KYB90 numunesi ise 90 günlük kür sonunda C25 beton sınıfını sağladığı görülmüştür.



Şekil 4.2.ÖYFC ile üretilen sertleşmiş betonların basınç dayanımlarının ilişkisi

Şekil 4.2'deki grafikte 7, 28 ve 90 günlük basınç dayanımlarının arasındaki ilişki verilmiştir. ÖYFC ikamesi olmayan KYB00 numunesinin erken dayanımı ÖYFC içeren numunelere göre daha fazladır. Ancak 28 ve 90 günlük kür sonundaki nihai dayanım artışlarına bakacak olursak, ÖYFC içeren numunelerin dayanım artışları referans numunesine göre daha fazla olduğu görülmektedir. Hatta KYB15 numunesinin 28 ve 90 günlük basınç dayanım değerleri referans numunesinin üstündedir.

Şekil 4.3'te ÖYFC ile üretilen betonların basınç dayanımlarının arasındaki % değişim ilişkisi verilmiştir. Şekilde, 7, 28 90 günlük basınç dayanımlarının ÖYFC muhtevasına göre azaldığı görülmektedir.



Şekil 4.3.ÖYFC ile üretilen betonların basınç dayanımlarının % değişim ilişkisi

#### 4.2.2 Yarmada çekme dayanımı

TS EN 12390-6 standardına uygun olarak 100 mm x 200 mm ebatındaki standart boyutlu silindir numuneler üzerinde 7. gün, 28. gün, 90. gün olmak üzere 3 farklı yaşta uygulanmıştır [46]. Numunelere ait kırılma şekilleri Şekil 4.4'de verilmiştir.



Şekil 4.4.Sırasıyla numunelerin yarmada çekme deneyi kırılma şekilleri

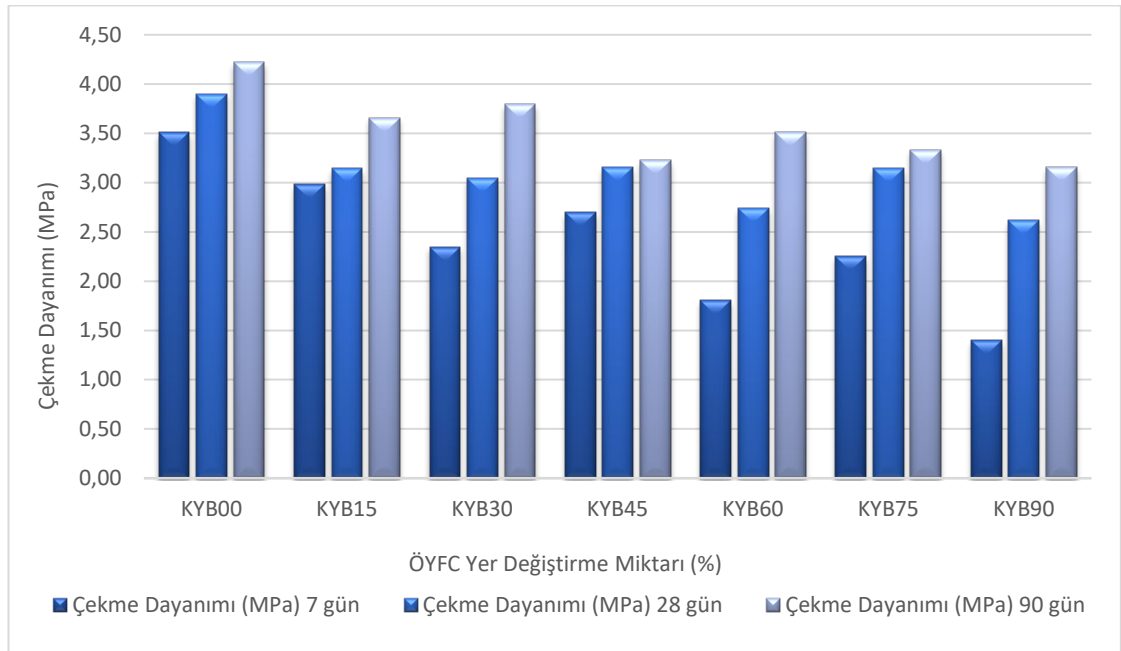


7, 28 ve 90 günlük yarmada çekme dayanım deney sonuçları Tablo 4.4'te verilmiştir.

Tablo 4.4.ÖYFC ile üretilen sertleşmiş betonların 7, 28 ve 90 günlük yarmada çekme dayanım değerleri

Beton Kodu	Çekme Dayanımı (MPa)		
	7 gün	28 gün	90 gün
KYB00	3,51	3,90	4,21
KYB15	2,98	3,14	3,65
KYB30	2,35	3,05	3,79
KYB45	2,70	3,15	3,22
KYB60	1,80	2,73	3,51
KYB75	2,25	3,14	3,33
KYB90	1,40	2,61	3,15

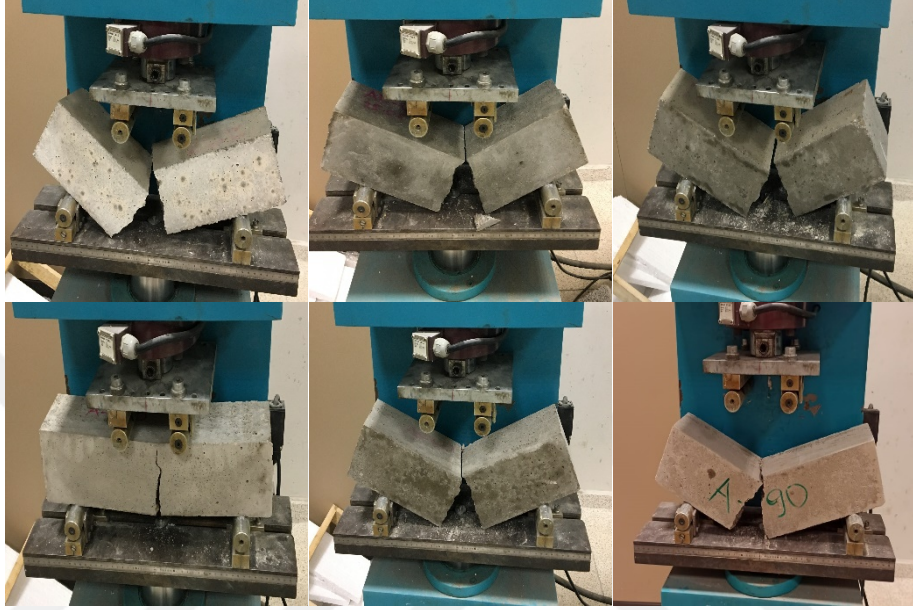
Şekil 4.5'te görüldüğü gibi 7, 28 ve 90 günlük en yüksek yarmada çekme dayanımına sahip olan numune ÖYFC ikamesi bulunmayan KYB00 numunesidir. KYB90 numunesi ise 7, 28 ve 90 günlük en düşük yarmada çekme dayanımına sahip olan numunedir. ÖYFC içeren numunelerin nihai dayanımlarının daha yüksek olduğunu söyleyebiliriz. Ancak ÖYFC ikamesi arttıkça dayanımda düzenli olmasa da bir düşüş gözlemlenmiştir.



Şekil 4.5.ÖYFC ile üretilen sertleşmiş betonların yarmada çekme dayanımlarının ilişkisi

### 4.2.3.Eğilme dayanımı

TS EN 12390-5 standardına uygun olarak 100 mm x 400 mm ebatındaki standart boyutlu prizma numuneler üzerinde 7. gün, 28. gün, 90. gün olmak üzere 3 farklı yaşta uygulanmıştır [47]. Numunelerin kırılma şekilleri Şekil 4.6’da verilmiştir.



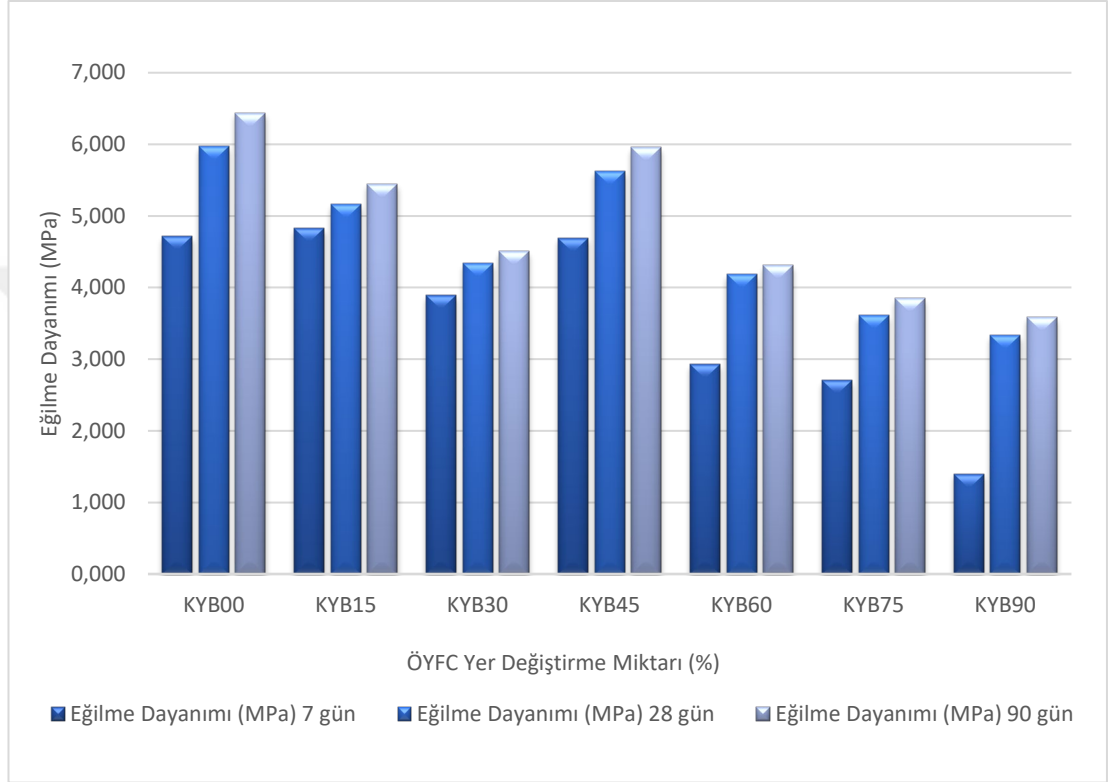
Şekil 4.6.Sırasıyla numunelerin eğilme dayanımı deneyi kırılma şekilleri

7, 28 ve 90 günlük eğilme dayanım değerleri Tablo 4.5’te verilmiştir.

Tablo 4.5.ÖYFC ile üretilen sertleşmiş betonların 7, 28 ve 90 günlük eğilme dayanım değerleri

Beton Kodu	Eğilme Dayanımı (MPa)		
	7 gün	28 gün	90 gün
KYB00	4,709	5,967	6,438
KYB15	4,827	5,165	5,445
KYB30	3,892	4,334	4,503
KYB45	4,694	5,628	5,960
KYB60	2,921	4,179	4,311
KYB75	2,708	3,613	3,848
KYB90	1,398	3,333	3,583

Şekil 4.7’de görüldüğü gibi 7 günlük en yüksek dayanım, en düşük ÖYFC miktarına sahip olan KYB15 numunesindedir. 28 ve 90 günlük en yüksek dayanım ise ÖYFC ikamesi bulunmayan kontrol numunesindedir. 7, 28 ve 90 günlük eğilme dayanım değerleri arasında en düşük olan numune KYB90, yani en fazla ÖYFC ikamesi bulunan numune olduğu görülmüştür.

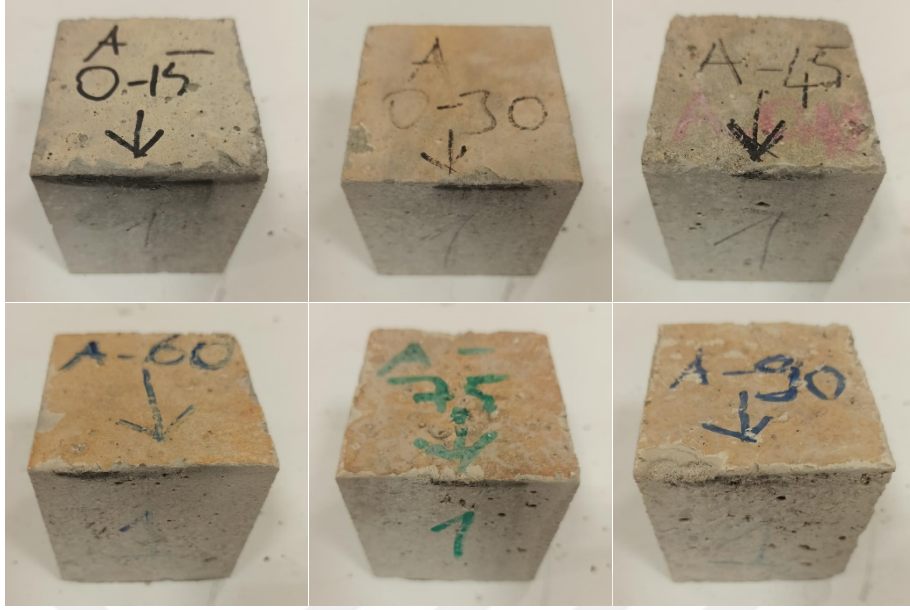


Şekil 4.7.ÖYFC ile üretilen sertleşmiş betonların eğilme dayanımlarının ilişkisi

KYB15 ve KYB30 numunelerinin nihai dayanım artışları az miktarda gerçekleşirken referans numunesi de dahil olmak üzere diğer tüm numunelerin nihai dayanımları daha yüksek ölçüde artmıştır. Aralarında düzenli bir ilişki olmamasına rağmen KYB45 numunesinin dayanım değerleri referans numunesine yaklaşmış ve ÖYFC ikamesi %45’ten fazla olduğu durumlarda dayanım değerleri düşmüştür. Yani eğilme dayanımları için ÖYFC içeren numuneler arasındaki optimum değer %45’tir diyebiliriz.

#### 4.2.4.Aşınma deneyi

71 mm x 71 mm’lik küp kalıplara dökülen ve gerekli kür koşullarında 28 ve 90 gün bekletilen numunelere aşınma (Böhme) deneyi uygulanmıştır. (Şekil 4.8)



Şekil 4.8. Aşınma deneyi yapılmış numunelerden bir seri

Uygulanan aşınma (Böhme) deney sonuçlarına göre bulunan aşınma değerleri aşağıdaki formülle hesaplanmıştır. (Denklem 4.1)

$\Delta V$ : 16 çevrimden sonra hacim kaybı,  $\text{cm}^3$

$\Delta m$ : 16 çevrimden sonra kütle kaybı, g

$\rho R$ : Numunenin yoğunluğu,  $\text{gr}/\text{cm}^3$  'dir [17].

$$\Delta V(\text{cm}^3/50\text{cm}^2) = \Delta m(\text{gr}/50\text{cm}^2) / \rho(\text{gr}/\text{cm}^3) \quad (4.1)$$

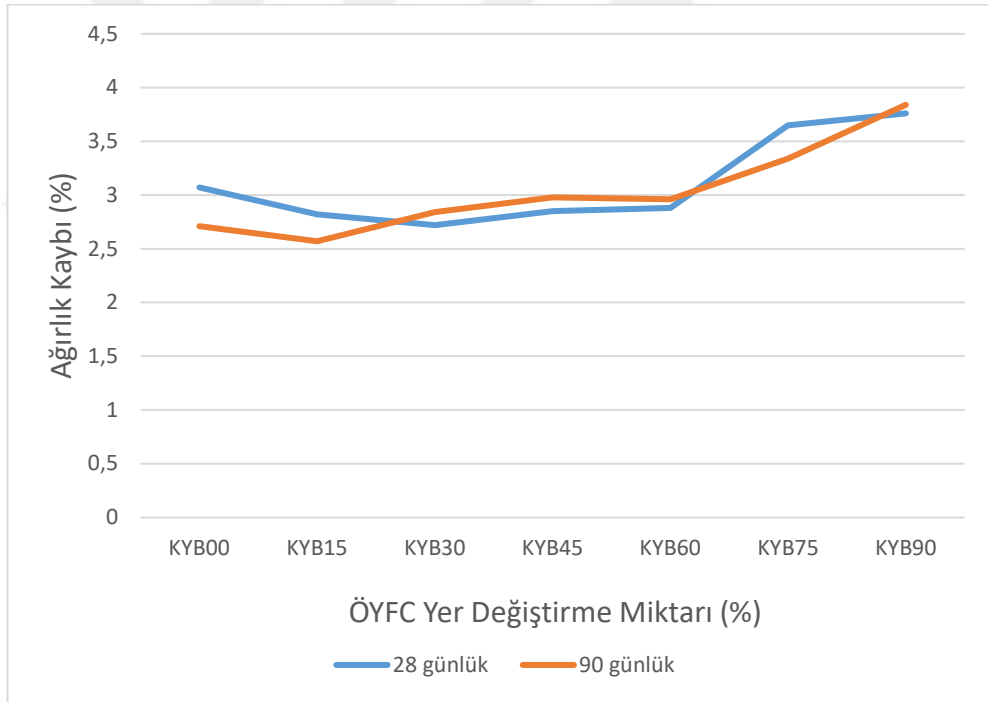
Hesaplanan değerler Tablo 4.6 ve 4.7'de verilmiştir.

Tablo 4.6. Üretilen betonların 28 ve 90 günlük aşınma değerleri

Beton Kodu	KYB00	KYB15	KYB30	KYB45	KYB60	KYB75	KYB90
28 Günlük Aşınma Değerleri	10,83	10,11	9,75	10,40	10,18	12,88	13,21
90 Günlük Aşınma Değerleri	9,47	9,23	10,15	10,86	10,37	11,87	13,66
Maks. Aşınma Değeri	18 $\text{cm}^3/50\text{cm}^2$						

Tablo 4.6’da görüldüğü gibi 28 günlük en düşük aşınma miktarı KYB30 numunesindedir. KYB15, KYB45 ve KYB60 numunelerinin aşınma değerleri ise referans numunesiyle yakın değerlerdedir. ÖYFC ikamesi %30’dan fazla olan numunelerde, ÖYFC ikamesi arttıkça aşınma miktarlarının da arttığı görülmüştür. Buna rağmen bütün aşınma değerlerinin TS2824 EN 1338’de öngörülen değeri altında sağladığı görülmüştür [49].

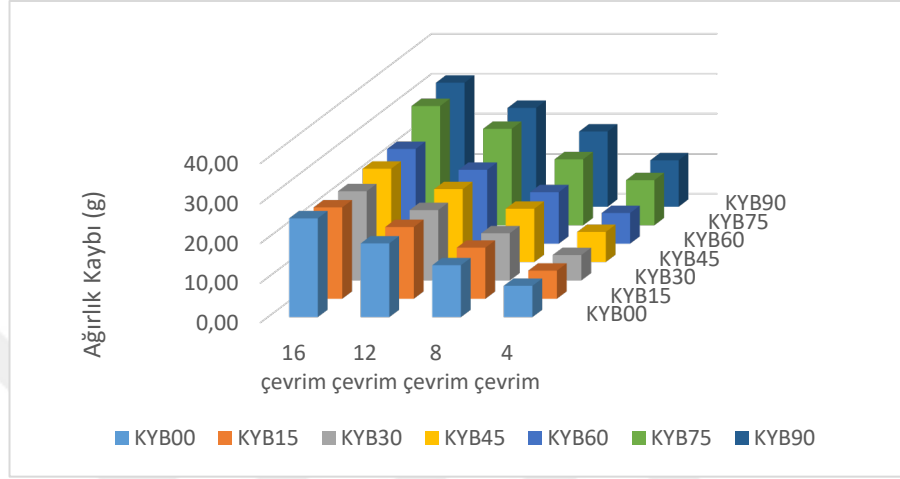
90 günlük aşınma değerleri arasında en düşük aşınma değerine sahip olan yine KYB15 numunesidir. Referans numunesi de KYB15 numunesine yakın değerdedir. KYB30, KYB45, KYB60 ve KYB75 numuneleri ise birbirlerine yakın değerlerde olup, referans numunesinden az miktarda yüksektir. En yüksek aşınma değeri KYB90 numunesindedir. Ancak 90 günlük aşınma değerleri de TS2824 EN 1338’de öngörülen değeri sağlamaktadır [49].



Şekil 4.9.Aşınma (Böhme) deneyi ağırlık kaybı (%) - yer değiştirme ilişkisi

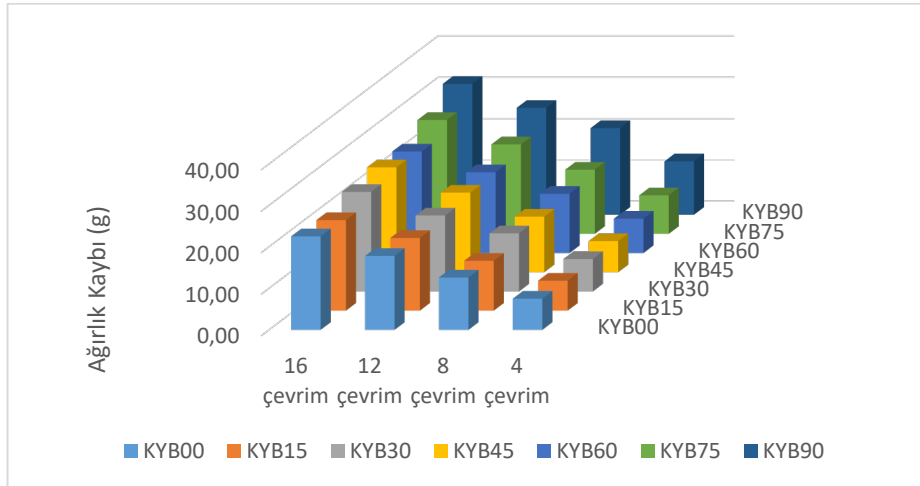
Numunelerin yüzde ağırlık kayıplarının verildiği Şekil 4.9’da görüldüğü gibi 28 günlük KYB00, KYB15, KYB30, KYB45, KYB60 numuneleri birbirlerine yakın sonuçlar vermektedir. KYB75 ve KYB90 numunelerinde ise ağırlık kaybı bir miktar artış göstermektedir. ÖYFC miktarının fazla olması durumunda aşınma direncinde azalmalar olduğu tespit edilmiştir.

90 günlük numunelerde de 28 günlük numunelerle benzer şekilde, KYB00, KYB15, KYB30, KYB45, KYB60 numuneleri birbirlerine yakın ağırlık kayıpları vermektedir. KYB75 ve KYB90 numunelerinde ise ağırlık kaybı bir miktar artış göstermektedir. ÖYFC miktarının fazla olması durumunda aşınma direncinde azalmalar olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.10. 28 günlük aşınma (Böhme) deneyi ağırlık kaybı (g)

Şekil 4.10’da ifade edildiği gibi en fazla aşınma miktarına sahip numune KYB90 numunesidir. Ancak KYB15, KYB30, KYB45 ve KYB60 numunelerinin başlangıça göre aşınma kayıpları kontrol numunesi ile yakındır.



Şekil 4.11. 90 günlük aşınma (Böhme) deneyi ağırlık kaybı (g)

Şekil 4.11’e göre 90 günlük aşınma (Böhme) deneyi ağırlık kayıpları arasında da en yüksek değer KYB90 numunesine aittir. Ancak diğer numuneler birbirlerine ve referans numunesine yakındır.

## 5. MALİYET KARŞILAŞTIRMASI

KYB üretiminde, çimento ve ince agrega miktarı fazla olup iri agrega miktarının az olması KYB'lerin üretim maliyetlerini oldukça yukarıya çekmektedir. Bu sebeple çalışmamız çimento yerine ÖYFC'nin kullanılabilirliğini ve optimum değerlerini incelemeyi amaçlamıştır. Hesaplanan maliyetler Tablo 5.1'de verilmiştir.

Tablo 5.1.1 m<sup>3</sup> için beton maliyetleri

Mlz.	Birim Fiyat	KYB00		KYB15		KYB30		KYB45		KYB60		KYB75		KYB90	
		(kg/m <sup>3</sup> )	(₺/m <sup>3</sup> )	(kg/m <sup>3</sup> )	(₺/m <sup>3</sup> )	(kg/m <sup>3</sup> )	(₺/m <sup>3</sup> )	(kg/m <sup>3</sup> )	(₺/m <sup>3</sup> )	(kg/m <sup>3</sup> )	(₺/m <sup>3</sup> )	(kg/m <sup>3</sup> )	(₺/m <sup>3</sup> )	(kg/m <sup>3</sup> )	(₺/m <sup>3</sup> )
YFC	112 ₺/ton	-	-	67,5	7,6	135	15,1	202,5	22,7	270	30,2	337,5	37,8	405	45,4
Çimento	227 ₺/ton	450	102,2	382,5	86,8	315	71,5	247,5	56,2	180	40,9	112,5	25,5	45	10,2
Su	6,84 ₺/ton	193,5	1,3	193,5	1,3	193,5	1,3	193,5	1,3	193,5	1,3	193,5	1,3	193,5	1,3
Doğal Kum	24 ₺/ton	450	10,8	450	10,8	450	10,8	450	10,8	450	10,8	450	10,8	450	10,8
Kırma Kum	34,36 ₺/ton	650	18,2	650	22,3	650	22,3	650	22,3	650	22,3	650	22,3	650	22,3
Kırma Taş	34,36 ₺/ton	580	19,9	580	19,9	580	19,9	580	19,9	580	19,9	580	19,9	580	19,9
Kim. katkı	3,90 ₺/kg	6,75	26,3	6,75	26,3	6,75	26,3	6,75	26,3	6,75	26,3	6,75	26,3	6,75	26,3
<b>TOPLAM (₺/m<sup>3</sup>)</b>		<b>178,7</b>		<b>175,1</b>		<b>167,3</b>		<b>159,6</b>		<b>151,8</b>		<b>144,0</b>		<b>136,3</b>	

ÖYFC içeren betonlar ve referans numunesi maliyet açısından değerlendirildiğinde, Tablo 5.1’de görüldüğü gibi, ÖYFC ikamesi olmayan KYB00 numunesinin 1m<sup>3</sup> maliyeti 178,70 ₺ iken, KYB90 numunesinin 1m<sup>3</sup> maliyeti 136,30 ₺ ‘dir. ÖYFC’nin beton üretiminde ciddi anlamda ekonomi sağladığı görülmektedir. Bu bağlamda KYB90 betonunun 90 gün sonunda C25 beton sınıfına ulaşması, yerinde yapılan dökümlerde uygulanabilirliğini olumsuz etkilerken, 90 günlük stok süresi de göz önünde bulundurularak prekast elemanlarda kullanımını önerilebilir.





## 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan deneyler doğrultusunda varılan sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

-HA miktarı ve s/b oranı sabit tutularak elde edilen numunelerde yapılan yayılma deney sonuçlarına göre ÖYFC içeren betonların yayılma değerleri arasında anlamlı bir ilişki olmadığı görülmüştür. Ancak bütün sonuçlar EFNARC 'ta istenilen değerleri sağlamaktadır[20]. En fazla yayılma, ÖYFC miktarı en fazla olan KYB90 numunesindedir. Yayılma çaplarının değişkenlik göstermesine rağmen T50 sürelerinde ÖYFC miktarına bağlı olarak artış gözlenmiştir. Sonuç olarak ÖYFC miktarının yayılma süresini uzattığı dolayısıyla işlenebilirliği azalttığı görülmüştür.

-ÖYFC miktarı arttıkça betonların birim ağırlıkları ve içerdikleri hava miktarları azalmıştır. ÖYFC miktarının betonun boşluk oranını olumlu etkilediği görülmüştür.

-Elde edilen basınç dayanım değerlerine göre 7 günlük en yüksek dayanım '44,15 MPa' ile kontrol betonuna aittir. ÖYFC miktarı arttıkça 7 günlük basınç dayanımı düşmüştür. 28 günlük basınç dayanım sonuçlarında, ÖYFC miktarı en az olan KYB15 betonunun basınç dayanımı '45,36 MPa' ile en yüksek olduğu görülmüştür. 90 günlük basınç dayanımlarında ise KYB15 numunesi '53,56 MPa' dayanım değeri ile yine en yüksek dayanıma sahipken, en düşük dayanım değeri KYB90 numunesindedir. Ancak ÖYFC içeren numunelerin nihai dayanım kazanmalarının, kontrol betonuna göre fazla olduğu da Tablo 4.3'te gösterilmiştir. KYB15, KYB30 ve KYB45 numuneleri referans numunesine yakın değerlerde olup, 45 MPa olarak tasarladığımız beton sınıfını sağlamaktadır. KYB90 numunesi ise en düşük basınç dayanım değerine sahip olmasına rağmen, 25 MPa 'ı sağlamaktadır.

-7, 28 ve 90 günlük en yüksek yarmada çekme dayanımları kontrol betonunda gözlenmiştir. ÖYFC içeren numunelerde referans numuneye göre çekme dayanımlarının nihai dayanım kazanma miktarları fazladır.

-7 günlük en yüksek eğilme dayanımı KYB45 numunesinde iken, 28 ve 90 günlük en yüksek eğilme dayanımı referans numunesindedir. ÖYFC içeren betonlar arasında ise 7, 28 ve 90 günlük en yüksek dayanım KYB45 betonundadır. KYB45 betonundan

sonra ÖYFC miktarı arttıkça dayanım azalmıştır. Eğilme dayanımı için KYB45 numunesi en uygun değer olarak belirlenmiştir.

-16 çevrim sonrasında hesapladığımız 28 ve 90 günlük aşınma (böhme) deney sonuçları TS2824 EN 1338'de öngörülen değere göre uygundur[49]. KYB15, KYB30, KYB45 ve KYB60 numunelerinin aşınma miktarlarının kontrol betonunun aşınma miktarına yakın olduğu görülmüştür. KYB75 ve KYB90 numunelerinin aşınma değerleri de diğer numunelerden bir miktar daha fazla aşınmasına rağmen TS2824 EN 1338'deki öngörülen değeri sağlamaktadır.

-Bu durumda basınç, yarmada çekme ve eğilme dayanımlarını birlikte değerlendirirsek ÖYFC ile çimentonun %60'a kadar yer değiştirmesinde istenilen değerlere yakın sonuçlar verdiği, %60 yer değiştirmede ise nihai dayanım değerlerinin olumlu sonuçlar verdiği fakat ÖYFC %60'tan fazla ikame edildiğinde ise istenilen sonuçlara ulaşamadığı görülmüştür. KYB90 numunesinde 90 gün sonunda 25 MPa'yı sağlamaktadır. Bununla birlikte aşınma değerlerini de değerlendirecek olursak, 90 günlük kür aşamasında stoklandıktan sonra prefabrik elemanlarda ve taşıma kapasitesi düşük olarak tasarlanan yol betonlarında, yüzey kaplama betonlarında, bazı zemin betonlarında, zemin dolgularında ve parke imalatında yüksek oranlarda ÖYFC kullanımı önerilebilir. Böylece maliyet açısından da ÖYFC kullanımı ucuz beton üretimine yüksek ölçüde katkı sağlamış olur.

-Sonuç olarak; yüksek oranda ÖYFC 'nin çimento yerine kullanılmasıyla hem maliyet düşürülmüş olur hem de sürdürülebilir çevreye katkı sağlanmış olmaktadır.

## KAYNAKLAR

- [1] Topçu İ. B., Bilir T., Baylavlı H., Kendiliğinden Yerleşen Betonun Özellikleri, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Dergisi*, 2008, **21**(1), 1-22
- [2] Öztekin E., Karma Çelik Lif İçeren Kendiliğinden Yerleşen Betonun Kesme Davranışının İncelenmesi, [www.insapedia.com/kendiliginden-yerlesen-beton-nedir-kyb-nerelerde-kullanilir/](http://www.insapedia.com/kendiliginden-yerlesen-beton-nedir-kyb-nerelerde-kullanilir/) (Ziyaret tarihi:02 Ocak 2020)
- [3] Gürdal H., Yüceer Z., Türkiye ve Dünyada Kendiliğinden Yerleşen Beton Uygulamaları, Akçansa Çimento San. Ve Tic. A.Ş., İstanbul
- [4] mBrouwers, H.J.H., Radix, H.J., Self-Compacting Concrete: Theoretical and Experimental Study, *Cement and Concrete Research*, 2005, **35**(2), 2116-2136
- [5] Eroğlu L., Şahmaran M., Yaman İ.Ö., Tokyay M., Karışım Parametrelerinin Kendiliğinden Yerleşen Betonun Taze Özellikleri Üzerindeki Etkilerinin Belirlenmesi, *2. Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyumu*, Ankara, 12-13 Nisan 2007
- [6] Bouzoubaa N., Laclemi M, Self-Compacting Concrete Incorporating High Volumes of Class F Fly Ash Preliminary Results, *Cement Concrete Research*, 2001, Vol. **31** No. 3, 413-420
- [7] Şahmaran M., Yaman İ.Ö., Tokyay M., Yeni Nesil Yüksek Akışkanlaştırıcı Katkı Maddeleri İle Yüksek Hacimde Uçucu Kül İçeren Kendiliğinden Yerleşen Beton, Beton 2004 Kongresi Bildiriler Kitabı, 2004, 225-233.
- [8] Engin Y, Yüksek Fırın Cürufu ve Yüksek Fırın Cürufu Çimento, <http://www.betonvecimento.com/surdurulebilirlik/yuksekkfirin-curufu-ozet> (Ziyaret tarihi:02 Ocak 2020)
- [9] M.Emiroğlu, Y. Koçak, Yüksek Fırın Cürufunun Betonun Fiziksel ve Mekanik Özelliklerine Etkisi, *6 th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11)*, Elazığ, Turkey, 16-18 May 2011,
- [10] Felekoğlu B., Türkel S., Biçim ve Boyutların Beton Basınç Dayanımına Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi University Journal of Science*, 2005, **18**(4), 639-645
- [11] Okamura H., Self-Compacting High-Performance Concrete, *Concrete International*, 1997, **19**(7), 50-54
- [12] Ouchi M., Self-Compacting Concrete: Development, Applications and Investigations, *Nordic Concrete Research Committee Publications*, Stockholm, Sweden, 1999

- [13] Colleparđı M., A Very Close Precursor Of Self-Compacting Concrete (SCC), Unpublished data, 2001
- [14] Walraven J., Structural Aspects of Self-compacting Concrete in the Netherlands, *3rd International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete*, North-America 2002
- [15] Dehn F., High performance self-compacting concretes for bridge construction, *First North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete*, North-America ,2002
- [16] Brameshuber W., Uebachs S., The application of selfcompacting concrete in Germany under special consideration of rheological aspects, *First North American Conference on the Design and Use of Self- Consolidating Concrete*, North-America ,2002
- [17] Hammer T.A., ET AL., Development of SCC with focus on low cost, *3rd International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete*, North-America 2002
- [18] Sarıdemir H., Mineral ve Süperakışkanlaştırıcı Katkıların Kendiliğinden Yerleşen Betonun İşlenebilme ve Basınç Dayanımına Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri, 2006, 197076
- [19] Okamura H., Ouchi M., Self Compacting Concrete Development, Present and Future, *Proceeding of 1st International Rilem Symposium on Self Compacting Concrete*, Stockholm, Sweden, 1999
- [20] EFNARC, European Federation of National Trade Associations, *Specification and Guidelines for Self-Compacting Concrete*, 2005
- [21] EFNARC, European Federation of National Trade Associations, *Specification and Guidelines for Self-Compacting Concrete*, 2002
- [22] Ozawa K., Maekawa K., Kunishama M., Okamura H., Development of High Performance Concrete Based On The Durability Design Of Concrete Structures, *Proceedings of the 2nd East-Asia and Pacific Conference on Structural Engineering and Construction (EASEC-2)*, 1989, **1**, 445-450.
- [23] Yurugı M., Sakata N., Iwai M., Sakai G., Mix proportion for highly workable concrete, *Proceedings of the International Conference of Concrete*, Dundee, UK, 2000. 235
- [24] Domone P.L., Chai H.W., Design and Testing of Self-Compacting Concrete, Production Methods and Workability of Concrete, *RILEM International Conference*, Stockholm, Sweden, June 1996

- [25] Okamura H., Ouchi, M., Hibino, M., Ozawa, K., A rational mixdesign method for mortar in self-compacting concrete, *The 6th East AsiaPacific Conference on Structural Engineering & Construction*, 1998, .2, 1307-1312
- [26] TS EN 197-1, Genel Çimento Bileşimi, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri, *Türk Standartları Enstitüsü*, 2012
- [27] TS EN 1008, Beton karma suyu-Numune alma, Deneyler ve beton endüstrisindeki işlemlerden geri kazanılan su dahil, Suyun, Beton karma suyu olarak uygunluğunun tayini kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, 2003
- [28] TS EN 934-2, Beton Katkıları-Tarifler, Özellikler, Uygunluk, İşaretleme Ve Etiketleme, *Türk Standartları Enstitüsü*, 2002
- [29] TS EN 934-2/2, Kimyasal Katkılar - Beton, Harç ve Şerbet İçin - Bölüm 2: Beton Kimyasal Katkıları - Tarifler, Gereklere, Uygunluk, İşaretleme Ve Etiketleme, *Türk Standartları Enstitüsü*, 2013
- [30] Khayat K.H., Roussel Y., Testing And Performance Of Fiberreinforced, *Self Consolidating Concrete, Materials and Structures*, 2000, **33**, 338-344
- [31] Yaşar M., Demir Çelik Mamülleri, Karabük Üniversitesi, web.karabuk.edu.tr/myasar/demircelik/, (Ziyaret tarihi:02 Ocak 2020)
- [32] Türkiye Çelik Üreticileri Derneği, *Demir-Çelik Cüruf Raporu*, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 16 Kasım 2015
- [33] Euroslag, Statistics 2016, Kasım 2016 tarihinde Euroslag: <https://www.euroslag.com/wp-content/uploads/2019/01/Statistics-2016.pdf>, (Ziyaret tarihi:02 Ocak 2020)
- [34] Engin Y., Çimentonun Üretimi, <http://www.betonvecimento.com/cimento/cimento>, (Ziyaret tarihi:02 Ocak 2020)
- [35] Engin Y., Yüksek Fırın Cürufu ve Yüksek Fırın Cürüflü Çimentolar:Üretimi, Özellikleri, Etkileri, <http://www.karcimsa.com.tr/documents/yfc.pdf>, (Ziyaret Tarihi:02 Ocak 2020)
- [36] Ünal O., Agreganın Kendiliğinden Yerleşen Beton Özelliklerine Etkisinin Araştırılması, *BEÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 2013, **2**, 51-60
- [37] Topsakal A., Özel C., Kendiliğinden Yerleşen Betonların Yerleştirme Zamanına Bağlı Taze Ve Sertleşmiş Özelliklerinin Bulanık Mantık Yöntemi İle Modellenmesi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2012, **12**(1), 1-7
- [38] Yılmaz İ., Uçucu Kül , Yüksek Fırın Cürufu Ve Zeolit Katkılı Kendiliğinden Yerleşen Betonların İşlenebilirlik Ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2018, 522407

- [39] Yaprak H.,Şimşek O.,Aruntaş H.Y., Uçucu Kül ve Yüksek Fırın Cürufunun Süper Akışkanlaştırıcı Katkılı Beton Özelliklerine Etkisi, <http://www.etsepoksi.com/belgeler/Ucucu-kul-ve-yukse-firin-curufunun-super-akiskanlastirici-katkili-beton-ozelliklerine-etkisi.pdf>, (Ziyaret tarihi:02 Ocak 2020)
- [40] Kalkan N, Aruntaş H.Y., Demir E.,Yüksek Fırın Cürufu ve Süper Akışkanlaştırıcının Kendiliğinden Yerleşen Beton Özelliklerine Etkisi, *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, , 2016, **5**(1), 98-106.
- [41] TS EN 932-1, Agregaların genel özellikleri için deneyler-Kısım 1 numune alma metotları, *Türk Standartları Enstitüsü*, 1997
- [42] TS EN 933-1, Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 1: Tane Büyüklüğü Dağılımı Tayini - Eleme Metodu, *Türk Standartları Enstitüsü*, 2015
- [43] TS EN 15167-1, Öğütülmüş yüksek fırın cürufu - Beton, harç ve şerbette kullanım için - Bölüm 1: Tarifler, özellikler ve uygunluk kriterleri, *Türk Standartları Enstitüsü*, 2006
- [44] TS 802, Beton Karışım Tasarımı Hesap Esasları, *Türk Standartları Enstitüsü*, 2009
- [45] TS EN 12390-3, Beton - Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 3: Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Nisan 2003
- [46] TS EN 12390-6 Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 6: Deney numunelerinin yarmada çekme dayanımının tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, 2002
- [47] TS EN 12390-5 (İngilizce Metin) Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 5: Deney numunelerinde eğilme dayanımının tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, 2002
- [48] TS 699, Tabii yapı taşları-Muayene ve deney metotları, *Türk Standartları Enstitüsü*,2009
- [49] TS2824 EN 1338, Zemin döşemesi için beton kaplama blokları - Gerekli şartlar ve deney metotları, *Türk Standartları Enstitüsü*, 2005

## KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

- [1] **Mollaismailoğlu A.**, Öztürk O., Öner A., Kendiliğinden Yerleşen Betonlarda Çimento ile Yüksek Fırın Cürufunun Yüksek Oranlarda Yer Değiştirmesinin Betonun Fiziksel ve Mekanik Özelliklerine Etkisi, *7 th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science* 22-24 November 2019 (ISITES2019 SanliUrfa - Turkey)



## ÖZGEÇMİŞ

1989 yılında Gerede’de doğdu. İlk ve orta öğrenimini Gerede’de tamamladı.2007 yılında girdiği Selçuk Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’nden 2009 yılında Sakarya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’ne yatay geçiş yaptı. 2012 yılında inşaat mühendisi olarak mezun oldu. Ankara ve Kocaeli illerinde çeşitli proje firmalarında kamu kurumlarına ve şahıslara ait birçok proje çalışması içinde bulundu. 2015-2020 yılları arasında Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Ana Bilim dalında yüksek lisans yapmıştır.

