KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONLARDA İNCE AGREGANIN ÖĞÜTÜLMÜŞ YÜKSEK FIRIN CÜRUFU İLE YERDEĞİŞTİRMESİNİN BETON ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

RECEP ÜNLÜ

KOCAELİ 2020

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONLARDA İNCE AGREGANIN ÖĞÜTÜLMÜŞ YÜKSEK FIRIN CÜRUFU İLE YERDEĞİŞTİRMESİNİN BETON ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

RECEP ÜNLÜ

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 ince agrega ile öğütülmüş yüksek fırın cürufu (ÖYFC) ikame edilerek kendiliğinden yerleşen betonlar (KYB) üretilmiştir. Üretilen beton numuneleri üzerinde fiziksel, mekanik ve aşınma deneyleri yapılmıştır. Sonuçlar ÖYFC içermeyen kontrol numunesi ile karşılaştırılmıştır. Deney sonuçlarında elde edilen bulgulara göre ÖYFC içeren KYB'nin kullanım alanları değerlendirilmiştir. Çalışmaların tamamı Kocaeli Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Yapı Malzemeleri Laboratuvarı'nda yapılmıştır.

Lisansüstü eğitimim ve tez çalışmam sürecinde benden bilgi ve birikimini hiçbir zaman esirgemeyen, her daim yanımda olan çok değerli tez danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Adnan Öner'e, özellikle laboratuvar çalışmalarında ilgi ve yardımlarından dolayı Arş. Gör. Onur Öztürk'e ve İzmit Belediyesi'nde birlikte çalıştığımız mesai arkadaşlarıma teşekkür eder, sevgi ve saygılarımı sunarım.

Bu proje kapsamında gerekli malzeme tedariklerinde bizden yardımlarını esirgemeyen Nuh Çimento, Akçansa Çimento, Kavanlar Beton ve Soylular Beton'a eğitime verdikleri katkılarından dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Eğitim hayatım boyunca her zaman yanımda olan, maddi ve manevi her türlü desteği veren, aldığım her kararda beni destekleyerek bir adım daha ileri gitmemde büyük rol oynayan sevgili aileme ayrıca teşekkür ederim.

Şubat - 2020 Recep ÜNLÜ

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 4
1.1.Çalışmanın Amacı 4
1.2.Kendiliğinden Yerleşen Beton 4
1.2.1. Kendiliğinden yerleşen betonun tarihçesi 4
1.2.2. Kendiliğinden yerleşen betonun tasarım 5
1.2.3. Kendiliğinden yerleşen betonların taze beton deneyleri 7
1.2.4. Kendiliğinden yerleşen betonların olumlu ve olumsuz yönleri 9
1.2.5. Kendiliğinden yerleşen betonların kullanım alanları 9
1.3.Öğütülmüş Yüksek Fırın Cürufu 12
1.3.1. ÖYFC' nin üretimi ve kullanımı 12
1.3.2. ÖYFC' nin çimentoyla birlikte kullanımı 15
2.LİTERATÜR ÇALIŞMASI 16
2.1.Kendiliğinden Yerleşen Betonlar 16
2.2.ÖYFC' nin Betonda Kullanımı 17
2.2.1. ÖYFC' nin geleneksel betonda çimentoyla ikamesi 17
2.2.2. ÖYFC' nin KYB' lerde çimentoyla ikamesi 18
2.2.3. ÖYFC' nin KYB' lerde agregayla ikamesi 19
3.MALZEME VE YÖNTEM 20
3.1.Kullanılan Malzemeler 20
3.1.1. Agrega 20
3.1.2. Çimento 22
3.1.3. Öğütülmüş yüksek fırın cürufu 23
3.1.4. Hiper akışkanlaştırıcı katkı 25
3.1.5. Su 25
3.2.Kullanılan Aletler 26
3.2.1. Laboratuvar 26
3.2.2. Elek takımı 26
3.2.3. Hassas ve elektronik terazi 27
3.2.4. Beton mikseri 28
3.2.5. Slump hunisi 29
3.2.6. Birim ağırlık kabı 29
3.2.7. Kalıplar 30
3.2.8. Kür odası ve kür havuzları 31
3.2.9. Isıtıcı ve havalandırması 31
3.2.10. Basınç ve yarmada çekme deney aleti 32

3.2.11. Eğilme deney aleti....32
3.2.12. Aşınma (Böhme) deney aleti....33
3.2.13. Kumpas....34
4.KYB' LERİN HAZIRLANMASI VE DENEY YÖNTEMLERİ....35
4.1.Karışım ve Numunelerin Hazırlanması....35
4.2.Taze Beton Deney Yöntemleri....38
4.2.1. Çökme-yayılma deneyi....38
4.2.2. Birim hacim ağırlık deneyi....39
4.3.Sertleşmiş Beton Deney Yöntemleri....39
4.3.1. Basınç dayanım tayini....39
4.3.2. Yarmada çekme dayanım tayini....41
4.3.3. Eğilme dayanım tayini....42
4.3.4. Aşınma (Böhme) deneyi....43
5.BULGULAR VE TARTIŞMA....45
5.1.Taze Beton Deneyleri....45
5.2.Sertleşmiş Beton Deneyleri....47
5.2.1. Basınç dayanımı....47
5.2.2. Yarmada çekme dayanımı....51
5.2.3. Eğilme dayanımı....54
5.2.4. Aşınma deneyi....56
6.MALİYET....61
7.SONUÇLAR VE ÖNERİLER....63
KAYNAKLAR....66
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER....70
ÖZGEÇMİŞ....71

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Beton karışımlarının hacimsel karşılaştırılması 5
Şekil 1.2. KYB' lerin kullanıldığı güçlendirme projesi 10
Şekil 1.3. KYB' lerin kullanıldığı zor kalıplar.....10
Şekil 1.4. KYB' lerin kullanıldığı zor kalıplar.....11
Şekil 1.5. KYB' lerin kullanıldığı prefabrike eleman 11
Şekil 1.6. İstanbul' da gökdelen projesi 11
Şekil 1.7. YFC' lerin açığa çıktığı fırınlar 12
Şekil 1.8. Soğutma yöntemleri sonucu YFC' ler.....13
Şekil 3.1. Kullanılan doğal kum, kıma kum, kırma taş.....20
Şekil 3.2. Agregaların granülometrik dağılımı 21
Şekil 3.3. Kullanılan çimento 22
Şekil 3.4. Kullanılan ÖYFC 24
Şekil 3.5. Kullanılan kimyasal katkı 25
Şekil 3.6. Laboratuvar.....26
Şekil 3.7. Elek takımı 27
Şekil 3.8. Hassas terazi.....27
Şekil 3.9. Elektronik tartı 28
Şekil 3.10. Beton mikseri 28
Şekil 3.11. Slump hunisi 29
Şekil 3.12. Birim ağırlık kabı 29
Şekil 3.13. Silindir kalıplar.....30
Şekil 3.14. Prizma kalıplar 30
Şekil 3.15. Aşındırma kalıpları.....30
Şekil 3.16. Kür odası.....31
Şekil 3.17. Kür havuzu.....31
Şekil 3.18. Isıtıcı 32
Şekil 3.19. Basınç ve yarma deney aleti 32
Şekil 3.20. Eğilme deney aleti.....33
Şekil 3.21. Böhme deney aleti.....33
Şekil 3.22. Kumpas.....34
Şekil 4.1. KYB' nin hazırlanışı 37
Şekil 4.2. Kalıpların yağlanması.....37
Şekil 4.3. Karışımın kalıplara yerleştirilmesi 38
Şekil 4.4. Kür havuzundaki numuneler.....38
Şekil 4.5. Çökme yayılma deneyi 39
Şekil 4.6. Kükürt başlık yapımı 40
Şekil 4.7. Basınç dayanım tayini 41
Şekil 4.8. Yarma dayanım tayini 42
Şekil 4.9. Eğilme dayanım tayini.....43
Şekil 4.10. Böhme deneyi yapılışı 44

Şekil 5.1. Yayılma deney ölçümü 45
Şekil 5.2. Basınç dayanımları arasındaki ilişki 48
Şekil 5.3. Basınç dayanımları arasındaki ilişki 49
Şekil 5.4. Beklenen kırılma şekilleri 49
Şekil 5.5. Beklenmeyen kırılma çeşitleri 50
Şekil 5.6. 90 günlük KYB25' in kırılması 50
Şekil 5.7. 90 günlük KYB30' un kırılması 51
Şekil 5.8. Yarma dayanımlarının karşılaştırılması 52
Şekil 5.9. Yarma dayanımlarının karşılaştırılması 53
Şekil 5.10. Yarma numunelerinin kırılması 53
Şekil 5.11. Eğilme dayanımlarının karşılaştırılması 55
Şekil 5.12. Eğilme dayanımlarının karşılaştırılması 56
Şekil 5.13. Eğilme numunelerinin kırılması 56
Şekil 5.14. Aşınma deneyi yapılmamış numuneler 57
Şekil 5.15. Aşınma deneyi yapılmış numuneler 57
Şekil 5.16. Aşınma değerlerinin karşılaştırılması 58
Şekil 5.17. 28 günlük aşınma deneyi ağırlık kaybı 59
Şekil 5.18. 90 günlük aşınma deneyi ağırlık kaybı 59
Şekil 5.19. Aşınma deneyi ağırlık kaybı yüzdeleri 60

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 1.1. Dünya üzerinde çeşitli KYB örnek uygulamaları 7
Tablo 1.2. Cürufların kimyasal özellikleri 13
Tablo 1.3. 2014 yılı YFC ile atık ve geri kazanım miktarları 14
Tablo 3.1. Kullanılan agregaların granülometrik bileşimleri 21
Tablo 3.2. Kullanılan çimentonun mekanik özellikleri.....22
Tablo 3.3. Kullanılan çimentonun kimyasal bileşimi 23
Tablo 3.4. Kullanılan çimentonun fiziksel özellikleri 23
Tablo 3.5. ÖYFC' nin kimyasal bileşimi.....24
Tablo 3.6. ÖYFC' nin fiziksel özellikleri 24
Tablo 3.7. Kullanılan kimyasal katkının özellikleri 25
Tablo 4.1. Karışımlarının 1 m^3 için malzeme miktarları 36
Tablo 5.1. EFNARC'a göre yayılma değerleri.....45
Tablo 5.2. EFNARC'a göre T50 süre değerleri.....45
Tablo 5.3. KYB' lerin taze beton deney sonuçları 46
Tablo 5.4. KYB' lerin basınç dayanım değerleri.....47
Tablo 5.5. KYB' lerin yarmada çekme dayanım değerleri 51
Tablo 5.6. KYB' lerin eğilme dayanım değerleri 54
Tablo 5.7. KYB' lerin aşınma değerleri 58
Tablo 6.1. KYB' lerin 1 m^3 için maliyetleri 61

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A	: Silindir numunenin alanı, (mm^2)
C	: Boş kalıp ağırlığı, (gr)
D	: Silindirin çapı, (mm)
d_1	: Prizmanın genişliği, (mm)
d_2	: Prizmanın yüksekliği, (mm)
F	: Kırılma değeri için en yüksek kuvveti, (KN)
Fcf	: Eğilme dayanımı, (MPa)
Fct	: Yarmada çekme dayanımı, (MPa)
K	: Kalıpla taze beton birlikte olan ağırlığı, (gr)
Lp	: Prizmanın uzunluğunu, (mm)
L	: Silindirin uzunluğunu, (mm)
V	: Kalıp hacmi, (dm^3)
Δ m	: 16 çevrimden sonra kütle kaybı, (gr)
ΔV	: 16 çevrimden sonra hacim kaybı, (cm^3)
P	: Numunenin yoğunluğu, (gr/cm^3)
σ	: Basınç dayanımı, (MPa)

Kısaltmalar

EFNARC	: The European Federation of Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems. (Avrupa Federasyonu Özel Yapı Kimyasalları ve Beton Sistemleri)
EN	: European Norm (Avrupa Standartları)
KYB	: Kendiliğinden Yerleşen Beton
ÖYFC	: Öğütülmüş Yüksek Fırın Cürufu
S / b	: Suyun Bağlayıcıya Oranı
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü

KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONLARDA İNCE AGREGANIN ÖĞÜTÜLMÜŞ YÜKSEK FIRIN CÜRUFU İLE YERDEĞİŞTİRMESİNİN BETON ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

ÖZET

Öğütülmüş Yüksek Fırın Cürufu (ÖYFC); demir ve çelik üretimi yapan fabrikaların üretimi sonrasında atık/yan ürün olarak açığa çıkan bir malzemedir. Bu malzeme öğütülmesi sonucu mikron boyutuyla silisli ve alimünlü yapısı sayesinde inşaat sektöründe genel olarak çimento ile ikame ettirilerek kullanılmaktadır. Ancak bu çalışmada; çağımızda en çok kullanılan doğal kaynaklardan biri olan agrega ile ÖYFC belli oranlarda ikame ettirilmesi ile elde edilen Kendiliğinden Yerleşen Betonlar'ın (KYB) mekanik ve fiziksel özelliklerindeki değişimlerin incelenmesi amaçlanmıştır. KYB elde etmek için hazırladığımız karışımlarda çimento miktarını sabit tutarak ince agrega miktarının %5, %10, %15, %20, %25 ve %30 oranlarında kırma kum yüksek fırın cürufuyla ikame ettirilerek deney numuneleri hazırlanmıştır. Bu numunelere ek olarak yüksek fırın cürufu ilave edilmeyen referans numunesiyle birlikte 7 farklı karışım elde edilmiştir. KYB'lerde Cem I 42,5 R portland çimentosu, hiper akışkanlaştırıcı katkı (HA), doğal kum, kırma kum ve kırma taş kullanılmıştır. Hazırlanan betonlarda taze beton deneyi olarak T_{50} süresi ve yayılma deneyleri (slump deneyi) yapılmıştır. Ardından silindir, prizma ve aşınma deneyi için küp kalıplara beton dökülerek numuneler elde edilmiştir. Numuneler kür ortamında bekledikten sonra 7 ve 28 günlük basınç, yarmada çekme, eğilme dayanımı ve 28 günlük aşınma deneyleri yapılmıştır. ÖYFC içermeyen kontrol numunesi referans alınarak çıkan sonuçlar değerlendirilmiştir. Sonuçlara göre ÖYFC ile ince agrega (kırma kum) %30 ikamesi sonucunda 28 günlük nihai basınç dayanımında referans numuneye göre %40 oranında artış görülmüştür. Aşınma deneyin de ise ÖYFC içeren numunelerde daha az ağırlık kaybı olmuştur.

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

EFFECT OF FİNE AGGREGATE REPLACEMENT WITH GROUND GRANULATED BLAST FURNACE SLAG PROPERTIES OF CONCRETE IN THE SELF COMPACTİNG CONCRETES

ABSTRACT

Blast Furnace Slag (GGBS); is a material which is released as waste / by-product after the production of iron and steel producing factories. As a result of grinding of this material, it is generally used in the construction sector by replacing it with cement thanks to its silica and alimun structure with micron grain size. However, in this study; The aim of this study was to investigate the changes in the mechanical and physical properties of the self-compacting concrete (SCC) obtained by substituting GGBS with certain amounts of aggregate, which is one of the most used natural resources in our age. Experimental samples were obtained by replacing the amount of fine aggregate with 5%, 10%, 15%, 20%, 25% and 30% crushed sand blast furnace slag by keeping the cement amount constant in the mixtures we prepared to obtain. In addition to these samples, 7 different mixtures were obtained with the reference sample without the addition of blast furnace slag. Cem I 42.5 R portland cement, hyper plasticizing additive , natural sand, crushed sand and crushed stone were used. T_{50} time and spread test (slump test) were performed as fresh concrete test in the obtained concrete. Then, concrete was poured into cube molds for cylinder, prism and abrasion test and samples were obtained. After the samples were kept in curing environment, 7 and 28 days pressure, splitting tensile, bending and 28 days wear tests were performed. GGBS-free control sample was evaluated with reference to the results obtained. The results were evaluated by taking the reference sample without GGBS. According to the results, 30% increase in fine aggregate (crushed sand) with GGBS showed a 40% increase in the 28-day final compressive strength compared to the reference sample. GGBS, there was less weight loss in the samples containing in the abrasion.

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

GİRİŞ

KYB; özel katkılar sayesinde kendi özgül ağırlığı ile ulaşılması en zor noktalara ve sık donatılı kalıplara hiçbir sıkıştırma işlemi gerekmeksizin ayrışmadan yerleşebilen bir beton türüdür [1]. İlk olarak 1980'li yılların son çeyreğine doğru Japonya'da işçilikte yaşanan problemlerden ve standart betondaki durabilite sorunlarını gidermek amacıyla kullanılmaya başlanmıştır [2].

KYB'lerin standart betona göre avantajları; daha az işçilik ile daha hızlı, estetik, dayanıklı ve özgün yapılar elde edilmesine olanak sağlar. Ulaşılması zor, sık donatılı kalıplara dışardan bir etki gerek kalmadan hava boşluğunu dışarı atarak rahatça yerleşebilmektedir. Betonarme binaların bakım/onarım ve güçlendirmesi ile prefabrik yapıların üretiminde de ciddi kolaylıklar sağlamaktadır [3]. Ancak standart betona göre maliyeti daha yüksek olup karışım reçeteleri daha tecrübeli kişiler tarafından hazırlanması gerekmektedir [4]. Geleneksel beton ile KYB reçetelerinin hazırlanmasında temelde aynı malzemeler kullanılsa bile hacimsel olarak farklılıklar göstermektedir. KYB üretiminde diğer betonlara göre çimento ve ince agrega kullanımı daha fazla iken iri agrega kullanımı daha azdır [5].

Yılmaz ve Uysal (2011)'a göre KYB tasarımında kullanılacak kaba agrega miktarı arzu edilen akışkanlık ve kıvama ulaşması için genellikle hacimce %45 civarında kullanıldığını belirtmişlerdir. Aynı zamanda kaba agrega dane çapı sınırlandırılması ve iyi bir gradasyon eğrisi hazırlanması gerekmektedir [6]. Bu kıyaslama fazla kaba agreganın filler malzeme ve mineral katkılar ile ikame ettirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. KYB'yi geleneksel betonlardan ayıran nokta, akışkanlık özelliğini kazandıran ve tasarımda diğer önemli bir noktada da yer alan su azaltıcı polikarbosiklat esaslı hiper akışkanlaştırıcı kimyasal katkı kullanımıdır [7].

Öte yandan atık ve yan ürünlerin çevre kirliliğine engel olmak ve depolama maliyetlerini minimize edip ortadan kaldırmak amacıyla ülkemizde geri dönüşüme çok önem verilmektedir. Bu atık/yan ürünlerden biri olan ÖYFC demir çelik

fabrikalarında yüksek fırınlarda yakıt olarak kullanılan kok kömürünün ve filizin demire indirgenmesi için kullanılan kalkerin yanması sonrası oluşan YFC ortalama 1500^0C de erimiş halde elde edilir. Elde edilen YFC hava ile ani soğutulmasıyla kristal yapıya; su ile ani soğutulmasıyla camsı yapıya dönüşür. Bu camsı yapının öğütülmesi ile betonda kullanılabilmektedir [8]. ÖYFC'ler Türkiye'de yıllık olarak 3 milyon ton açığa çıkmaktadır [9].

Taş ocaklarında üretilen her agrega gerekli standartlara göre üretilmediği; denetlemenin yetersiz olduğundan dolayı agrega kaynaklarının bilinçsiz bir şekilde üretilip tüketilmektedir. Stratejik olarak agrega kaynaklarımız verimli kullanılmadığı ve alternatif bir malzeme bulunamadığı takdirde agrega ithali söz konusudur [10].

Agrega üretimi hayatımızın her aşamasında doğrudan ve dolaylı yoldan direk etki etmektedir. Ulaşım, eğitim, sağlık, idari ve hayatımızın doğal akışının devam etmesi için agrega kullanımı çok önemlidir. Ülkemizde yılda yaklaşık olarak 50 milyon ton agrega üretilmektedir. Üretilen 1 ton agrega için 5,5 kilowatt(kw) enerji sarfiyatı gerçekleşmektedir [11].

ÖYFC günümüzde daha çok çimento ile ikamesi araştırılmıştır. Ancak bu çalışmada KYB'lerde ÖYFC en çok tüketilen doğal kaynaklarımızdan biri olan agrega (kırma kum) yerine kullanılmıştır. ÖYFC'nin çimentoyla birlikte kullanılmasında taze ve sert betonun fiziksel ve mekanik özelliklerine birçok olumlu etkisi bulunduğu bilinmektedir [12]. Bunlardan başlıçaları; betonun priz süresini uzatması, su ihtiyacını, hava boşluğunu, termal çatlaklar, sünme-rötre ve korozyonu azaltması, nihai dayanımı, sülfata karşı dayanımı arttırması olarak sayılabilir. Bu şekilde atık/yan ürünlerin betonda kullanımı ile doğal kaynaklarımızı koruyup daha ucuz betonlar elde edebiliriz [12].

Binici ve ark. (2010) yaptıkları çalışmada çimento ve kumun ağırlık miktarlarına göre % 2,5, % 5 ve % 10 oranlarında bazalt, barit, ÖYCF ve kolemanit malzemeleri ile ikame ederek elde edilen betonların dayanım ve dayanıklılıklarını incelemişlerdir. Bu çalışma neticesinde 7, 28 ve 180 günlük ÖYFC içeren numuneler de referans numuneye göre 7 günlük erken basınç dayanımlarının ÖYFC miktarı arttıkça düşük çıktığı ancak 28 günlük ve 180 günlük nihai basınç dayanımlarının ÖYFC miktarı arttıkça referans numuneye göre yüksek çıktığını tespit etmişlerdir. Bu numuneler üzerinde yapılan aşınma (Böhme) deney sonuçlarına bakıldığındaysa ÖYFC

miktarının arttıkça ağırlık kaybının azaldığı ve en az ağırlık kaybının % 8 ile % 10 oranında ÖYFC içeren numunede olduğunu belirtmişlerdir [13].

Yaprak ve ark. yaptıkları çalışmada çimento miktarını ağırlıkça % 0, % 10, % 20 ve % 30 oranlarında ÖYFC ile ikame ederek hazırladıkları numunelerde çökme, basınç ve yarmada çekme deneyleri uygulamışlardır. Bu çalışma neticesinde yapılan taze ve sertleşmiş beton deney sonuçları irdelendiğinde çimento miktarının ağırlıkça belli oranlarda azalması, ÖYFC miktarının artmasıyla betonun akışkanlığında azalma olduğu ve ÖYFC ikame oranının artmasıyla sertleşmiş betonların basınç dayanımlarının % 20' ye kadar arttığı, ÖYFC miktarının % 30 yer değiştirme oranına ulaştığında ise azaldığını gözlemlemişlerdir [14].

Kalkan ve diğ. KYB karışımlarında 50, 100, 150, 200 ve 250 kg miktarında ÖYFC ile çimento ikame ettirmişlerdir. Kontrol betonuyla birlikte 6 ayrı karışım elde etmişlerdir. HA ve s/b oranını sabit tuttukları numunelerde yayılma, basınç ve yarmada çekme deneyleri uygulamışlardır. ÖYFC ikameli betonların çökme-yayılma değerlerinin kontrol betonuna göre daha fazla olduğu görülmüştür. 7 günlük basınç dayanım değerlerinin ÖYFC ikame miktarı arttıkça azaldığı ve en yüksek basınç değerinin en az ÖYFC ikamesine sahip olan numunenin olduğunu belirlemişlerdir. 28 günlük sonuçlarda ise KYB içerisine konulan ÖYFC'nin basınç dayanımını artırdığı gözlemlemişlerdir [15].

1.GENEL BİLGİLER

1.1.Çalışmanın Amacı

Bu çalışmada ÖYFC'nin ince agrega miktarının belli oranlarında kırma kum ile ikamesi sonucu KYB üzerinde fiziksel, mekanik ve aşınma etkileri araştırılmıştır. Numuneler üzerinde yapılan taze beton ve sertleşmiş beton deneylerine göre ÖYFC içeren betonların basınç, yarma, eğilme dayanımları ile aşınmaya karşı gösterdikleri dirençlerin ÖYFC içermeyen betona göre elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Çıkan sonuçlara göre ÖYFC'nin ince agrega yerine kullanılarak bir atık/yan ürün ile daha çevreci betonlar elde edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla ülkemizde en çok kullanılan doğal kaynaklardan biri olan agrega tüketiminin azaltılmasıyla daha az enerji harcanması ve atık/yan ürünün depolanma ve yok edilme gibi problemlerinden kurtularak geri dönüşümde kullanılmasıyla ekolojik çevreye de katkı sağlanması hedeflenmiştir.

1.2.Kendiliğinden Yerleşen Beton

1.2.1. Kendiliğinden yerleşen betonun tarihçesi

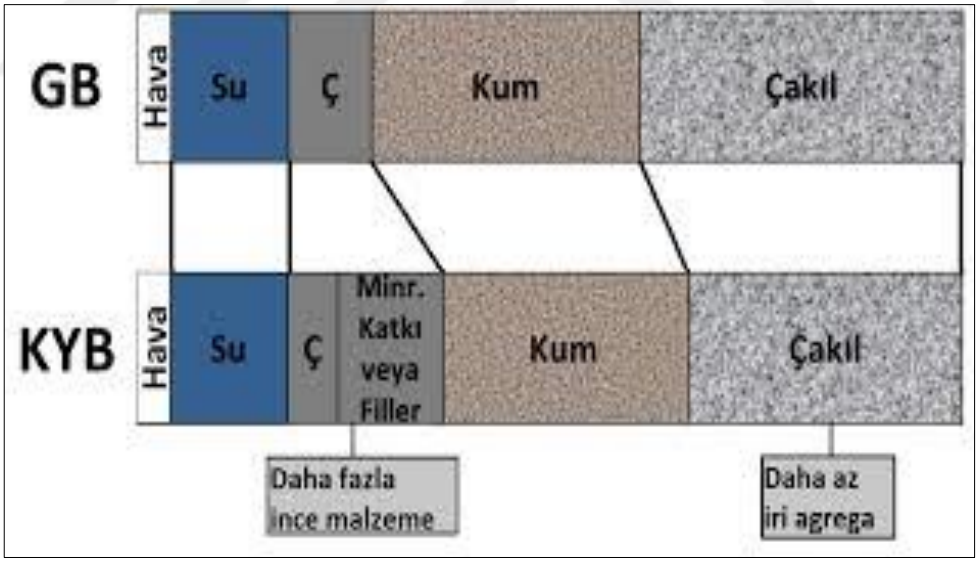
Dünya üzerinde sahip olduğu özelliklerden dolayı inşaat alanında en çok tercih edilen yapı malzemelerinin başında beton gelmektedir. Bu geleneksel betonun gerekli ihtiyaçlar ve teknolojinin gelişmesiyle yapılan bilimsel çalışmalar sonucu çeşitli özelliklere sahip özel betonlar üretilmektedir. Bu özel beton türlerinden başlıçaları; ağır beton, havalı beton, hafif beton, püskürtme beton, silindir ile sıkıştırılabilir beton, reaktif pudra beton gibi beton türleridir. Bu özel beton türleri gibi diğer bir özel beton türü de kendiliğinden yerleşen betondur [16].

Kendiliğinden yerleşen beton (KYB), dünya üzerinde ilk olarak 1980'li yıllarda Japonya da üretilmeye başlandı. Japonya deprem bölgesi olması sebebiyle dayanıklı betonlara ihtiyaç duyulmaktaydı. Bunun için beton yerleştirme sırasında tecrübeli işçiler kullanarak beton içindeki hava miktarını en alt seviyede tutmak gerekiyordu. Yeteri kadar tecrübeli iş gücünün bulunmamasıyla sebebiyle buna çözüm olarak

kendiliğinden sıkışabilen ve yerleşebilen betonu üretmeye başladılar. Ülkemizde 1990'lı yılların sonlarında üretilmeye başlanmıştır. Dünya' da KYB'ler farklı isimlerde de kullanılmaktadır. Kendiliğinden sıkışabilen beton, çöken beton, düzenlenebilen beton olarak adlandırılabilmektedir [1,16,17].

1.2.2. Kendiliğinden yerleşen betonun tasarım

Geleneksel betona göre sahip olduğu çeşitli özellikler bakımında yüksek performanslı bir beton türüdür. Karışımlarında kullanılan su azaltıcı özel katkılar sayesinde akışkanlık özelliğini kazanır ve standart beton karışımlarına göre kaba agrega hacmi ile su/bağlayıcı miktarı Şekil 1.1'deki gibi daha düşüktür. Su altında yapılan imalatlarda viskozite oranı yüksek, deniz altında hazırlanan kalıba bir etki ve vibrasyon gerekmeden yerleşebilen kohezyonlu kendiliğinden yerleşen beton olan su altı betonları sayesinde çeşitli yapılarak inşaat edebiliriz. Su altı betonlarının deniz suyuna karşı direnç gösterebilmesi ve yüksek akışkanlığını sağlaması için daha fazla kimyasal katkıya ihtiyaç duyulmaktadır [16,18].



Şekil 1.1. Beton karışımlarının hacimsel karşılaştırılması

Gürdal ve Yüceer 2004 yılında geleneksel betonlar ve KYB'ler üzerinde yaptıkları karşılaştırma çalışmaları sonucunda KYB karışımlarında bulunan hava, su, çimento, mineral katkılar, kimyasal katkılar, ince agregalar ve kaba agregaların hacimsel olarak şu şekilde ifade etmişlerdir;

- % 40 ile % 55 arasında ince agrega(kırma kum ve doğal kum),

- % 30 ile % 35 arasında kaba agrega,
- % 30 ile % 42 arasında çimento miktarı,
- % 0,8 ile % 1,3 arasında su azaltıcı kimyasal katkı olarak süper akışkanlaştırıcı,
- Kimyasal katkı miktarına göre de 150 litre ile 200 litre arasında da su miktarı olması gerektiğini hacimsel olarak belirtmişlerdir.

Bu miktarı hacimsel oranlardan ağırlık miktarlarına çevirirsek 1 m^3 KYB için gerekli ağırlık miktarları da şu şekildedir;
- 700 kg/m^3 ile 900 kg/m^3 arasında toplam kırma kum ile doğal kum,
- 750 kg/m^3 ile 950 kg/m^3 arasında kaba agrega,
- Çimento ile birlikte toplam bağlayıcı miktarı 400 kg/m^3 ile 650 kg/m^3 arasında,
- 145 kg/m^3 ile 210 kg/m^3 arasında da 1 m^3 için gerekli su miktarıdır [19,20].

Betonun kendi ağırlığı ile akabilmesi için su miktarının arttırmak betonun su/bağlayıcı miktarını arttırmasına, bu yüzden de betonun dayanım ve durabilite kaybına sebep olacaktır. KYB'lerde bu akışkan özelliğe sahip olabilmesi için su yerine özel kimyasal katkılardan olan su azaltıcı yüksek hareket özelliği kazandıran polikarbosiklat esaslı kimyasal akışkanlaştırıcılar kullanılır. Ancak polikarbosiklat esaslı kimyasal katkıların dışındaki diğer katkılar daha fazla su ihtiyacı duyduğundan dolayı betonun su miktarını artırmaktadır. Bu sebepten dolayı KYB üretimi sırasında en fazla kullanılan kimyasal katkı polikarbosiklat esaslı katkılardır. Aynı zamanda polikarbosilikat katkılar çimento bağları üzerine daha güçlü bir şekilde yapışarak fiziki itme kuvveti oluşturmaktadır [21].

1997 yılında Avrupa Birliği üye ülkeleri arasında standartlarının belirlemek için çeşitli proje çalışmaları başlatılmıştır. Bu çalışmalar 2000'li yıllarında başında sonuçlanmasıyla birlikte Avrupa Federasyonu Özel Yapı Kimyasalları ve Beton Sistemleri (EFNARC)'ın KYB ile ilgili genel standartları oluşturulmuş olundu. Yapılan çalışmalar devamında EFNARC-2002,2003 ve son olarak EFNARC-2005 ile KYB ile ilgili son düzeltmeleri yapılarak güncel halini aldı.

Dünya üzerinde uygulanmış çeşitli KYB'lerin kullanıldığı ülkeler, uygulandığı alanlar, su/bağlayıcı oranları, yayılma çapları, basınç dayanım değerleri ile uygulandığı yapıya sağladığı faydaların gözlemlendiği örnekler Tablo 1.1'de verilmiştir [19,21].

Tablo 1.1. Dünya üzerinde çeşitli KYB örnek uygulamaları

DÜNYA ÜZERİNDE ÖRNEK KYB UYGULAMALARI					
Ülke	Uygulama Alanı	Su/ Bağlayıcı Oranı-HA Miktarı	Yayılma Çapı (mm)	Basınç Dayanımı (MPA)	Faydası
Almanya	Prefabrik duvar yapı elemanı	0,55 %1,1	700	44	Mükemmel yüzey kalitesi
Almanya	Sel Koruma Duvarı	0,31 %2	640	55	Karmaşık kesitler
Çek Cumhuriyeti	Üniversite binası yapımı	0,31 3,4 kg/m^3	750	50	Vibrasyonsuz zor kalıplar
Türkiye	Otel olarak kullanılan yapının bakım ve onarımı	0,38 %1	650	54	Döşemeden açılan delikle güçlendirme perdesinin tamamı dolduruldu
Türkiye	Çimento silosu bakım ve onarımı	0,37 %1,2	680	57	Korozyona uğramış donatıların kayar kalıplarla vibrasyonsuz mantolanması ve düzgün bir yüzey elde edilmesi

1.2.3. Kendiliğinden yerleşen betonların taze beton deneyleri

KYB'lerde aranan başlıca özellikler işlenebilme, doldurma yeteneği, ayrışma direnci ve geçiş yeteneğidir. Bu özellikleri belirlemek için kendiliğinden yerleşen betonlar üzerinde TS EN 12350 taze beton standartlarına uygun olarak aşağıdaki taze beton deneyleri yapılması gerekmektedir [22].

Çökme-yayılma deneyi; taze beton haldeki KYB'lerin Abrams konisine hiçbir sıkıştırma işlemi yapmadan doldurulur. KYB dolu olan koni üzerinde 500 mm ve 800 mm çaplı daireler bulunan tabla üzerinde yavaş bir şekilde kaldırılır ve betonun yatayda yapmış olduğu yayılma çapı ölçülür. Betonun yayılma çapı 500 mm ilk varış süresi ölçülerek T_{50} süresi belirlenmiş olur. Bu deney sayesinde KYB'lerin doldurma ve yayılma özelliğinin belirlendiği en temel deneydir [23].

V hunisi deneyi; KYB'lerin birim zamandaki akış hızı ile geçiş özelliğinin belirlendiği deneydir. Deneyde kullanılan V şeklindeki kabın üst kısmı 490 mm alt çıkış kısmı 65 mm olup genişliği 75 mm'dir. Hazırlanan taze haldeki KYB bu kap içine doldurulur. Daha sonra dar kısmındaki kapak açılarak KYB'nin tamamen boşalıncaya kadar ki süre ölçülür. Ölçülen süre 9 saniyeden az ise VF1, 9 saniye ile 25 saniye arasında ise VF2 olarak adlandırılmaktadırlar [24,25].

L kutusu deneyi; taze haldeki kendiliğinden yerleşen betonun yoğun donatılı dar ve derin kalıplar içinde herhangi bir ayrışmaya maruz kalmadan geçebilme, doldurma ve yerleşme özelliklerinin ölçüldüğü deney tipidir. L kutusunun düşey kolu ile yatay kolu arasında 3 adet donatı bulunur. Daha sonra KYB L kutusu içinde boşaltıldığı zaman betonun düşey koldaki yüksekliği ile yatay koldaki yüksekliği ölçülür. Yatay koldaki yüksekliğin düşey koldaki yüksekliğe oranı 0,80'e eşit ve ya büyük olması durumunda PL 2 diye adlandırılır [25,26].

Doldurma kabı deneyi; KYB'lerin kalıp içinde yerleşme ve doldurma özelliğini belirler. Genişliği 300 mm, uzunluğu 500 mm ve yüksekliği 350 mm olan şeffaf bir kabın için 50 mm aralıklar ile yatay ve düşey bir şekilde yerleştirilmiş 42 adet 16 mm çaplı donatılarak bulunmaktadır. Bu kaptaki iki uç arasındaki betonun yükseklik farkı ölçülerek KYB'nin doldurma ve yükselebilme özellikleri belirlenir [26].

J halkası deneyi; KYB'nin donatılar arasından ayrışmadan geçerek akabilme özelliğinin belirlendiği deney yöntemidir. J halkası deney düzeneği yayılma deneyindeki malzemeler yanında koninin etrafına donatılı çember yerleştirilerek yapılır. Koninin yavaşça kaldırılmasıyla KYB'nin donatılar arasından geçerek yayılması şeklinde yapılır. L kutusuyla aynı mantıkta çalışmaktadır [24,26].

Bu deneylerle ilgili gerekli standart ve sınır değerler TS EN 12350 ve EFNARC 2005 belirtilmiştir [25,27].

1.2.4. Kendiliğinden yerleşen betonların olumlu ve olumsuz yönleri

KYB'ler geleneksel betona göre karşılaştırdığımızda en büyük avantajları akışkanlık özelliği sayesinde kendi ağırlığı ile dar, derin ve sık donatılı kalıplara hiçbir iç ve dış sıkıştırma işlemi gerektirmeden yerleşebilen, bu yerleşme sırasında herhangi bir ayrışma ve terlemeye maruz kalmadan akıcılığını koruyabilen bir betondur. İnşaat yapım aşamasında daha az iş gücüyle daha fazla imalat yapmaya olanak sağlar. Yüzey düzeltme işlemlerinde daha az iş gücüne ihtiyaç duyulur.

Normal betona göre düşük su/bağlayıcı oranı ve özel katkılar sayesinde çatlaklar ve çimento ile agreganın ayrışması minimize edilmiş olup, hızlı mukavemet alma, daha dayanıklı ve dayanımlı betonlar üretilebilir. Sıkıştırma işlemi için iç ve dış vibrasyon gerektirmediği için çevre de oluşacak gürültü kirliliğini de azaltılmış olur [28].

KYB'lerin olumlu yanları olduğu kadar geleneksel betona göre olumsuz yanları da bulunmaktadır. Özel katkılar ve çimento miktarının fazla olmasından dolayı normal betona göre daha maliyetlidir. Maliyeti azaltmak için çeşitli mineral katkılar da kullanılabilir. Yüksek oranda akışkanlığından dolayı hidrostatik yüklerin oluşturacağı itki kuvvetine karşı kalıp işçiliğinde daha güçlü kalıplar gerekmektedir. Eğimli yüzeylerde gerekli önlemler alınmadığı takdirde KYB uygulaması ciddi zorluklar oluşturmaktadır. Su/bağlayıcı miktarının düşük olmasından dolayı sertleşmesi sırasında tecrübeli ve uygun işçilik yapılmadığı takdirde plastik rötre çatlakları görülebilir [29].

1.2.5. Kendiliğinden yerleşen betonların kullanım alanları

KYB'lerin genel olarak kullanım alanları;

- Her türlü betonarme imalatlarda,
- Bakım, Onarım ve güçlendirme projelerinde,(Şekil 1.2),
- Kolon-Kiriş Mantolama işlemlerinde,
- Tünel projeleri gibi taze betonun ulaşmasının güç olduğu zor ve derin kalıplara sahip projelerde,

- Geleneksel beton yerine düşey ve yatay elemanlar ile beton yol projelerinde,
- Mimari açıdan tasarımı zor projelerde,(Şekil 1.3,6),
- Pürüzsüz ve estetik yüzey kaygısı olan projelerde,
- Sık donatısı olan özellikle kolon – kiriş birleşimi gibi donatının sık olduğu betonarme projelerde,
- Vibrasyonun kullanılması zor olan betonarme yapılarda,(Şekil 1.4),
- Prefabrike yapı elemanlarının imalatlarında kullanılabilir.(Şekil 1.5)

Türkiye' de normal kullanılan betona göre KYB'ler daha zor ulaşılması ve maliyetinden dolayı pek tercih edilmemektedir. Ancak yapılan kişisel ve kurumsal alanlardaki çalışmalar neticesinde ve inşaat teknolojisindeki ilerlemeler sayesinde ülkemizde kullanımı hızlı bir şekilde yaygınlaşmaktadır [30].



Şekil 1.2. KYB' lerin kullanıldığı güçlendirme projesi



Şekil 1.3. KYB' lerin kullanıldığı zor kalıplar



Şekil 1.4. KYB' lerin kullanıldığı zor kalıplar



Şekil 1.5. KYB' lerin kullanıldığı prefabrike eleman



Şekil 1.6. İstanbul’ da gökdelen projesi

1.3.Öğütülmüş Yüksek Fırın Cürufu

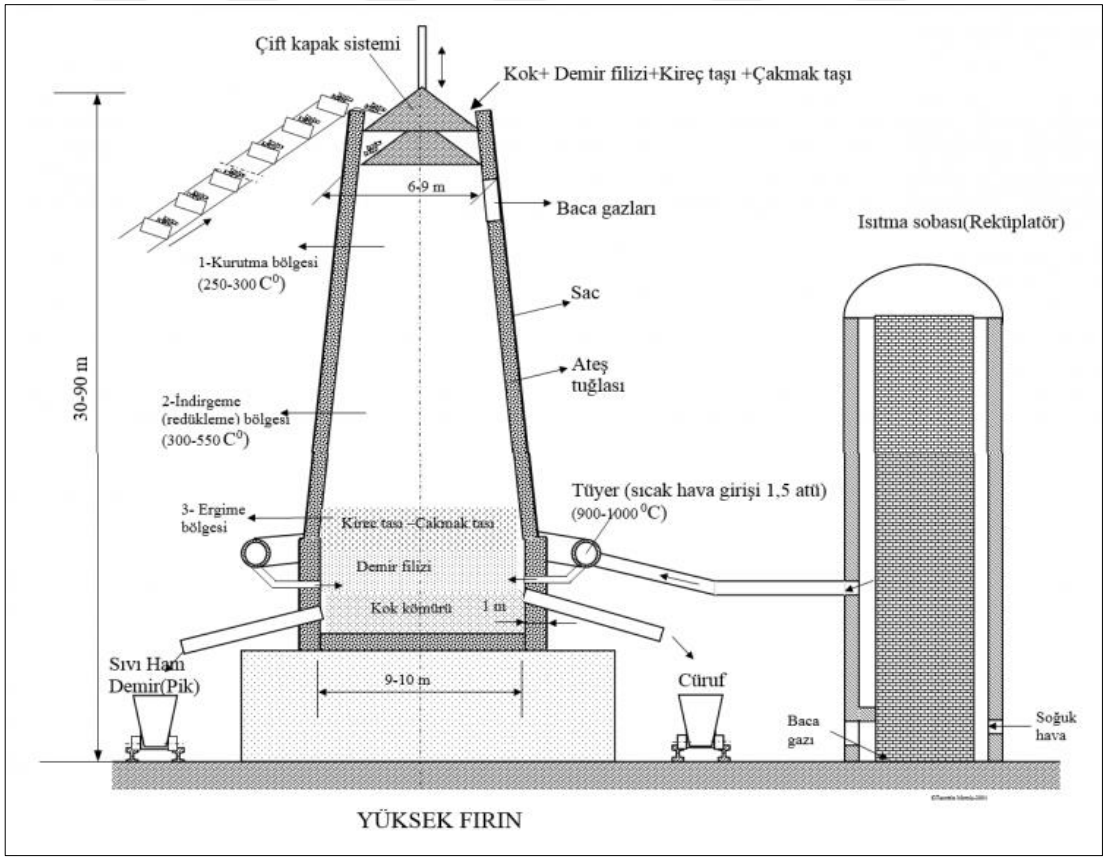
1.3.1. ÖYFC' nin üretimi ve kullanımı

Betonunun viskozitesini, akıcılığını, hidratasyon ısısını, çimento miktarını, maliyetini, dayanım ve dayanıklılığını düzenlemek için çeşitli çok ince toz halinde puzolanlar kullanılmaktadır. Bu puzolanlar kimyasal yapısındaki alimünlü ve silisli yapısı sayesinde çimento ile etkileşime gerebilmektedir. Puzolanlar yapay ve doğal olmak üzere iki sınıfta incelenmektedir. Doğal puzolanlar, volkanik hareketler sonucu tortullaşmış kayaçlardan elde edilirler. Doğal puzolan çeşitleri;

-Volkanik kökenli camlar, tras ve tüfler,

-Volkanik kökenli ısıl işlem görmüş killer ve diatomitlerdir.

Yapay puzolanlar ise termik santraller ve çelik fabrikalarında hammaddelerin indirgenmesi sonucu açığa çıkan uçucu kül, silis dumanı, yüksek fırın cürufu ve pirinç kabuğu külüdür. Çalışmamızda kullandığımız yapay puzolan yüksek fırın cürufudur [30].



Şekil 1.7. YFC' lerin açığa çıktığı fırınlar

Yüksek fırın cürufu; Kardemir, İsdemir, Erdemir gibi çelik ve demir üretimi yapan fabrikalarda üretim sonrasında açığa çıkan bir yan üründür. YFC; demir-çelik tesislerindeki demir hammaddesinin kok kömürü ile Şekil 1.7'deki fırınlarda indirgenmesi sonucu ortalama 1500^{o}C'de eritilmiş halde elde edilir ve fırınlardan hammadde ile ayrı yollardan tahliyesi sağlanır. Elde edilen eritilmiş haldeki YFC Şekil 1.8'de görüldüğü üzere havada direk soğutulmasıyla kristalize yapıya sahip olur ve boyutları 4 mm ile 15 mm arasındadır. Suyla direk soğutulmasıyla camsı ve çok ince boyutlu bir yapıya dönüşür. Bu çok ince boyutlu yapının öğütülmesi ile betonda mineral katkı olarak kullanılabilir hale getirilir [9,30].



Şekil 1.8. Soğutma yöntemleri sonucu YFC' ler

Demir, çelik üretiminde 1 tonluk çelik elde edilirken yaklaşık olarak 200 kilogram ile 250 kilogram arasında yan ürün olarak cüruf açığa çıkmaktadır. Şekil.1.7'deki fırından açığa çıkan erimiş halde bulunan demire gerekli elementler ile birlikte yüksek oranda kireç ilave edilerek çelik üretimi yapılır. Bu çelik üretimi sırasında açığa çıkan atıklara da çelik cürufu adı verilir [31].

Tablo 1.2. Cürufların kimyasal özellikleri

	YFC (%)	Çelikhane Cüruf (%)
CaO	36-43	48-54
CaO Serbest	-	1-10
SiO2	35-39	11-18
Al2O3	8-12	1-4
MgO	4-12	1-4
Toplam Fe	<0,5	14-19
Toplam Mn	<0,5	1-4
Na2O	<0,5	-
K2O	<0,7	-
S	1,2-1,6	-
CaO/ SiO2	1-1,2	2,8-4,4

YFC'nin rengi açık iken çelik cürufunun rengi daha koyu bir haldedir. YFC'nin kimyasal özellikleri demir hammaddesine, kok kömürü ve kalkerin özelliklerine göre farklılık göstermektedir. Erdemir Ar-ge'den alınan kimyasal analiz verilerine göre bu iki tür cürufun kimyasal özellikleri Tablo 1.2'de verilmiştir [31].

Türkiye Çelik Üreticiler Derneği'ne göre ülkemizde Kocaeli, Bursa, Tekirdağ, Samsun, Karabük, Hatay Osmaniye, Bilecik ve İzmir'de toplam ortalama yıllık olarak 4,5 milyon ton çelikhane cürufu üretilirken, 3 milyon ton YFC açığa çıkmaktadır. Açığa çıkan bu ÖYFC Tablo1.3'de gösterildiği gibi Karabük, Zonguldak ve İskenderun'daki demir çelik fabrikalarında atık madde alarak çıkmaktadır. ÖYFC'nin tamamına yakını çimento fabrikalarına gönderilerek; çimento da katkı maddesi olarak kullanılmaktadır [9].

Çelikhane cürufunun kullanım alanları, yol alt yapısının dolgusunda, beton agregasında, bitümlü temel, binder, aşınma asfalt betonu agregalarında, demiryolları agregalarında, cam saniyesinde, tarım alanları gibi çok çeşitli kullanım alanlarına sahiptir [9].

Tablo 1.3. 2014 yılı YFC ile atık ve geri kazanım miktarları

	Cüruf Miktarı (Ton)	Atık (Ton)	Geri Kazanım (Ton)
KARABÜK- KARDEMİR			
Granüle YFC	561570	0	561570
Havada Soğutulmuş YFC	405480	0	405480
ZONGULDAK-ERDEMİR			
Granüle YFC	822627	0	822627
Havada Soğutulmuş YFC	0	0	0
İSKENDERUN-İSDEMİR			
Granüle YFC	1342848	0	1221678
Havada Soğutulmuş YFC	54154	53721	433

1.3.2. ÖYFC' nin çimentoyla birlikte kullanımı

ÖYFC betonda belli oranlarda kullanıldığı zaman betona ciddi derece de olumlu katkılar sağlamaktadır. Hidratasyon ısısını düşürme, geçirimsizliği ve mukavemeti artırma, sülfata ve ateşe karşı direncini yükseltme, priz süresi geciktirme, beton ile agrega arasındaki bağları arttırarak boşluk oranlarını azaltma, betonun uzun yıllar dayanıklılığını arttırmak gibi çeşitli yararları vardır [32].

ÖYFC'ler Tablo 1.2'de görüldüğü gibi portland çimentosuna oranla daha az kalsiyum oksit(CaO) ve daha fazla silisyum dioksit(SiO_2), alüminyum oksit (Al_2O_3) ve kükürt (SO_3) içermektedir. ÖYFC'ler bu kimyasal özelliklerindeki silisli ve alimünlü yapısı sayesinde çimento ile etkileşime girebilmektedir [24,32]. Çimentoya erken dayanım özelliğini kazandıran C_3S bileşeni ÖYFC'de oluşmadığından dolayı ÖYFC içeren betonların erken dayanımları normal betona göre daha düşük çıkarken uzun süreli dayanımları da normal betona göre daha yüksek çıkmaktadır [24,33].

2.LİTERATÜR ÇALIŞMASI

2.1.Kendiliğinden Yerleşen Betonlar

KYB'lerin mekanik, fiziksel ve karışım özelliklerini belirlemek için yapılan bazı çalışmalar;

Orhan E. ve arkadaşları (2012) KYB'lerde kimyasal katkıların özelliklerini araştırmak için yaptıkları çalışmada 0,42 su/bağlayıcı miktarını sabit tutarak numuneler oluşturmuşlardır. Bu çalışmada kimyasal katkı olarak su azaltıcı polikarbosiklat esaslı süper akışkanlaştırıcı, mineral katkı olarak da silis dumanı kullanılmıştır. Hazırlanan numunelerde süper akışkanlaştırıcı % 1,3, % 1,5 ve % 1,7 oranında değişirken silis dumanı da çimento miktarının % 0, % 10 ve % 20 oranlarında değiştirilerek 9 farklı numune elde edilmiştir.

Hazırlanan bu numunelerde yapılan taze beton ve sertleşmiş beton deneylerinin sonuçları değerlendirilmiştir. Taze beton deneylerine bakıldığı zaman akışkanlık özelliğini en iyi seviye de kazandıran süper akışkanlaştırıcı miktarının % 1,5 oranı olduğu, % 1,3 oranın az % 1,7 oranının fazla olduğunu tespit etmişlerdir. Basınç dayanımı ve yarma dayanımında ise en ideal sonucu % 10 silis dumanı ile % 1,3 oranında kimyasal katkı kullanıldığı karışımla elde edilmiştir. Mineral katkılar ve kimyasal katkılar düzenli gerekli seviyede kullanıldığı zaman daha ekonomik ve dayanıklı KYB'ler hazırlanabilir [18].

Persson ve ark. (2003) tarafından yapılan çalışmada kendiliğinden yerleşen beton karışımları için 50 adet numune hazırlanmıştır. Hazırlanan bu numuneler 2,5 yıl (900 gün) boyunca deniz suyu, çeşme suyu ve sodyum sülfatta bekletilmiştir. 900 gün sonunda sodyum sülfatta bekletilen numunelerde normal betona göre numuneden parçaların ayrıldığı ve bu şekilde ağırlık kayıpları gözlemlenmiştir. Bunun nedeni olaraktan KYB'lerde bulunan kalker tozu olduğu tespit edilmiştir. Normal çeşme suyunda ve deniz suyunda bekletilen numunelerde normal betona göre ağırlık farklılıkları görülmemiştir [34].

Tunga ÖZGÜLER A. ve diğ.'nin (2007) agrega tiplerinin KYB'ler üzerindeki etkisi konusunda yaptığı çalışmada 4 farklı numune hazırlamıştır. Hazırlanan bu 4 numuneden 2' sinde normal agrega boyutları farklı oranlarda, diğer 2 numune de kırma taş ile normal agrega boyutları karıştırılarak hazırlandı. Yapılan taze beton ve sertleşmiş beton sonuçlarına göre ince agrega miktarının iyi dizayn edilmesi gerektiğini aksi halde istenilen yayılmanın olmadığını tespit etmiştir. Sertleşmiş beton dayanımlarına bakıldığındaysa normal agreganın kullanıldığı numunelerin kırma taş kullanılan numunelere göre basınç dayanımlarının daha yüksek olduğu ve bunun nedeni olarak kırma taşların köşeli olmasından kaynaklandığını belirtmiştir.

Sonuç olarak da KYB üretiminde agrega tipi ve karışım oranı hem fiziksel hem de mekanik özellikler üzerinde etkisinin olduğunu tespit etmiştir [20].

2.2.ÖYFC' nin Betonda Kullanımı

ÖYFC'lerin geleneksel betonlarda ve KYB'lerde kullanımı ile mekanik, fiziksel ve karışım özelliklerini belirlemek için yapılan bazı literatür çalışmaları incelenmiştir.

2.2.1. ÖYFC' nin geleneksel betonda çimentoyla ikamesi

Dinç Ç.'nin 2014 yılında yaptığı çalışmada 500 dozlu 30 MPa sınıfı normal dayanımlı beton ile 600 dozlu 80 MPa sınıfı yüksek dayanımlı betonlardan KYB'ler hazırlanmıştır. Hazırlanan bu numunelerde çimento miktarıyla ile uçucu kül ve ÖYFC %10 , %30 ve %50 oranlarında, silis dumanını ise %10 ve %20 oranlarında ikame ederek numuneler hazırlamıştır.

Hazırlanan deney numuneleri üzerinde yapılan yayılma deneylerinde mineral katkıların artmasıyla yayılma çaplarında genel olarak azalmalar olduğu görülmüştür. Yapılan basınç ve yarma dayanımları deneyleri sonuçlarında ise referans numunelere göre en fazla artış %20 oranında silis dumanı içeren deney numunesinde görülmüştür.

ÖYFC ikame oranlarına bakıldığında referans numunelere göre 56 günlük nihai yarma ve basınç dayanımlarında dayanımların normal betona göre artış görülmesine karşın; en yüksek dayanım miktarını ÖYFC'nin %20 oranında olduğu numuneden elde edilmiştir [17].

2.2.2. ÖYFC' nin KYB' lerde çimentoyla ikamesi

Bingöl A. ve arkadaşları (2019) yaptıkları çalışmada ÖYFC ve zeoliti çimento ile ayrı ayrı %10, %20 ve %30 oranlarında ikame ederek 7 farklı numune hazırlamışlardır. Hazırlanan numunelere taze beton, sertleşmiş beton ve sulfata dayanıklılık deneyleri yapılmıştır. Sonuç olarak ÖYFC ve zeolit ikame oranları arttıkça referans numuneye göre çökme miktarının ve birim ağırlığın azaldığı belirtmişlerdir. Basınç ve eğilme dayanım değerlerine bakıldığı zaman sülfatsız ortamda bekletilen numunelerden 180 gün sonunda en verimli sonuç %10'luk ÖYFC numunesinde elde edilirken sülfatlı ortamda aynı şekilde en verimli sonuç %10'luk ÖYFC numunesi gözlemlenmiştir. Ancak 180 günlük deney sonuçlarında sülfatsız ortamdaki %10'luk ÖYFC numunesinin dayanım değerlerinin sülfatlı ortama göre daha yüksek olduklarını belirtmişlerdir [35].

Kalkan ve diğ. KYB karışımlarında 50 kg, 100 kg, 150 kg, 200 kg ve 250 kg miktarında ÖYFC ile çimento ikame ettirmişlerdir. Kontrol betonuyla birlikte 6 ayrı karışım elde etmişlerdir. HA ve s/b oranını sabit tuttukları numunelerde yayılma, basınç ve yarmada çekme deneyleri uygulamışlardır. ÖYFC ikameli betonların çökme-yayılma değerlerinin kontrol betonuna göre daha fazla olduğu görülmüştür. 7 günlük basınç dayanım değerlerinin ÖYFC ikame miktarı arttıkça azaldığı ve en yüksek basınç değerinin en az ÖYFC ikamesine sahip olan numunenin olduğunu belirlemişlerdir. 28 günlük sonuçlarda ise KYB içerisine konulan ÖYFC'nin basınç dayanımını artırdığı gözlemlemişlerdir [15].

Yaprak ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada çimento miktarını ağırlıkça % 0, % 10, % 20 ve % 30 oranlarında ÖYFC ile ikame ederek hazırladıkları numunelerde çökme, basınç ve yarmada çekme deneyleri uygulamışlardır.

Bu çalışma neticesinde yapılan taze ve sertleşmiş beton deney sonuçları irdelendiğinde çimento miktarının ağırlıkça belli oranlarda azalması, ÖYFC miktarının artmasıyla betonun akışkanlığında azalma olduğu ve ÖYFC ikame oranının artmasıyla sertleşmiş betonların basınç dayanımlarının % 20' ye kadar arttığı, ÖYFC miktarının % 30 yer değiştirme oranına ulaştığında ise azaldığını gözlemlemişlerdir. ÖYFC'nin sertleşmiş beton deney sonuçlarına bakıldığı zaman beton içerisinde kullanılması belli bir seviyeye kadar olumlu sonuçlar vermiştir [14].

2.2.3. ÖYFC' nin KYB' lerde agregayla ikamesi

Kaya ve Karakurt (2014)'un yaptıkları çalışmada ağırlıkça karşımdaki toz miktarının %10, %20 ve %30 oranında mermer tozu ve ÖYFC'nin ince agregayla ikame ederek 20^{o}C da elde ettikleri 365 günlük numunelerin yaptıkları basınç dayanım testlerinde ÖYFC artmasıyla dayanımın arttığını, daha az oranlarda ikame ederek sonuçlarının irdelenmesini önermiştir [29].

Binici ve ark. 2010 yılında yaptıkları çalışmada çimento ve kumun ağırlık miktarlarına göre % 2,5, % 5 ve % 10 oranlarında bazalt, barit, ÖYCF ve kolemanit malzemeleri ile ikame ederek elde edilen betonların dayanım ve dayanıklılıklarını incelemişlerdir. Bu çalışma neticesinde 7, 28 ve 180 günlük ÖYFC içeren numuneler de referans numuneye göre 7 günlük erken basınç dayanımlarının ÖYFC miktarı arttıkça düşük çıktığı ancak 28 günlük ve 180 günlük nihai basınç dayanımlarının ÖYFC miktarı arttıkça referans numuneye göre yüksek çıktığını tespit etmişlerdir. Bu numuneler üzerinde yapılan aşınma (Böhme) deney sonuçlarına bakıldığındaysa ÖYFC miktarının arttıkça ağırlık kaybının azaldığı ve en az ağırlık kaybının %8 ile %10 oranında ÖYFC içeren numune de olduğunu belirtmişlerdir [13].

3.MALZEME VE YÖNTEM

3.1.Kullanılan Malzemeler

Bu çalışma kapsamında kullanılan malzemeler aşağıda açıklama ve şekillerde verildiği gibidir.

3.1.1. Agrega

Çalışma kapsamında hazırlanan KYB numunelerinde ince agrega olarak doğal kum ve kırma kum, iri agrega olarak ise kırma taş kullanılmıştır. Kullanılan agregalar Şekil 3.1'deki gibidir.



Şekil 3.1. Kullanılan doğal kum, kıma kum, kırma taş

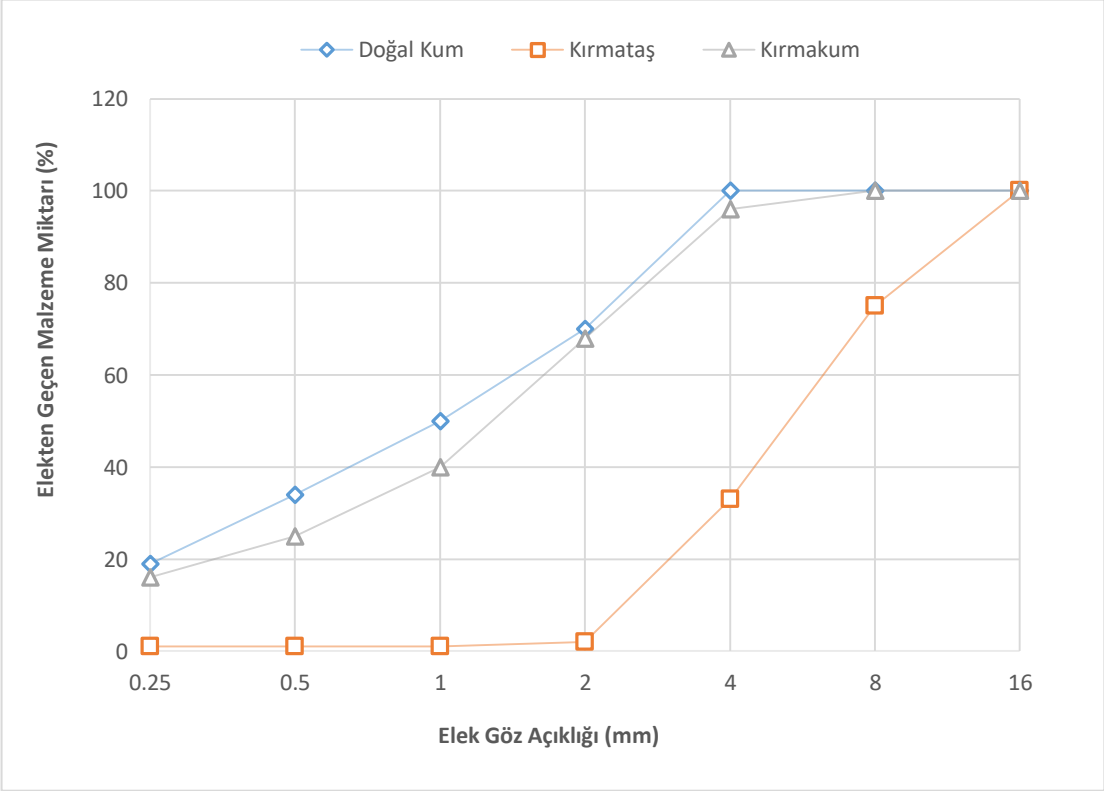
TS EN 933-1 standardı esas alınarak hazırlanan doğal kum, kırma kum ve kırma taş bileşiminin granülometrik dağılımını bulabilmek için numuneler üzerinde 2,25 – 16 mm elek takımı kullanılmıştır [13]. Elek analizi TS EN 933-1 standardına uygun olarak yapılmıştır [14]. Doğal kumun geçebildiği en büyük elek çapı 4 mm, incelik modülü 2,28; kırma kumun geçebildiği en büyük elek çapı 8 mm, incelik modülü 2,55; kırma taşın geçebildiği en büyük elek çapı 16 mm olup incelik modülü Tablo 3.1'de görüldüğü gibi 4,88'dir. Doğal kum ve kırma kumun birim hacim ağırlıkları 2,66 kg/m^3' dür. Kaba agreganın birim hacim ağırlıkları 2,69 kg/m^3' dür.

Agregaların granülometrik dağılımı Şekil 3.2'deki grafikte gösterildi [35].

Tablo 3.1. Kullanılan agregaların granülometrik bileşimleri

.Elek Analizi Sonuçları			
Elek Boyutu (mm)	Elek Altına Geçen Malzeme (%)		
	Doğal Kum	Kırmataş	Kırmakum
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

Dmax, 12,4 mm olarak kullanılmıştır.



Şekil 3.2. Agregaların granülometrik dağılımı

3.1.2. Çimento

Beton numunelerin üretiminde kullandığımız çimento CEM 1 42,5 R (PÇ 42,5) çimentosu olup, Akçansa Çimento Sanayi ve Ticaret A.Ş.'den temin edilmiştir. Aynı zamanda kullanılan çimento inşası devam eden Çanakkale Asma Köprüsü'nde de kullanılmaktadır.

Kullanılan çimento Şekil 3.3'te görüldüğü gibidir.



Şekil 3.3. Kullanılan çimento

Kullanılan çimentoya ait mekanik, kimyasal ve fiziksel özellikler Tablo 3.2, Tablo 3.3 ve Tablo 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

Kullanılan çimentonun yapılan deneyler sonucunda 7 günlük değeri 38,6 MPa, 28 günlük basınç dayanımı 57,4 MPa gelmektedir.

Tablo 3.3. Kullanılan çimentonun kimyasal bileşimi

Kimyasal Özellikler	
İncelenen Maddeler	Elde Edilen Değerler (%)
SiO_2	19,41
Al_2O_3	4,50
Fe_2O_3	3,49
CaO	63,09
MgO	2,51
SO_3	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^2/ gr)	3814
Özgül Ağırlık (gr/cm^3)	3,12

Tablo 3.4'te belirtildiği üzere Çanakkale Bölgesi'nde üretilen CEM 1 42,5 R çimentonun özgül ağırlığı 3,12 gr/cm^2 olup özgül yüzeyi 3814 cm^2/gr'dır.

3.1.3. Öğütülmüş yüksek fırın cürufu

Bu çalışmada kullanılan ÖYFC, TS EN 15167-1 standardına uygun olarak, Nuh Çimento Sanayi ve Ticaret A.Ş.'den temin edilmiştir [37]. Kullanılan ÖYFC Şekil 3.4'de görüldüğü gibidir.



Şekil 3.4. Kullanılan ÖYFC

Öğütülmüş yüksek fırın cürufuna ait fiziksel ve kimyasal özellikler Tablo 3.5, Tablo 3.6'da verilmiştir. ÖYFC'nin yoğunluğu 2,92 g/cm^3'tür. Özgül yüzey alanı ise 4537 cm^2/g olup en alt değer olan 2750 cm^2/g'dan daha fazladır.

Tablo 3.5. ÖYFC' nin kimyasal bileşimi

Kimyasal Analiz Sonuçları	%	Standart
SiO_2	37,29	
Al_2O_3	11,76	
Fe_2O_3	1,77	
CaO	33,09	
MgO	7,12	maks. 18
SO_3	1,51	maks.2,5
K_2O	1	
Na_2O	0,15	
Toplam Alkali Na_2O+0,658 K_2O	0,81	
Kızdırma Kaybı	0,25	maks.3
Klorür	0,0075	maks.0,1
Sülfür (S-2)	0,1	maks.2,5

Tablo 3.6. ÖYFC' nin fiziksel özellikleri

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

3.1.4. Hiper akışkanlaştırıcı katkı

Hazırladığımız beton numunelerinin karışımında KYB özelliğini kazanması için hiper akışkanlaştırıcı katkı kullanılmıştır. Chryso Yapı Kimyasalları'nın ürünü olan Chryso Delta 489 W katkısı temin edilmiştir. Hiper akışkanlaştırıcı katkı aşağıdaki şekilde görüldüğü gibidir.



Şekil 3.5. Kullanılan kimyasal katkı

KYB numunelerinde akışkanlaştırıcı olarak su azaltıcı polikarbosiklat esaslı süper akışkanlaştırıcı kullanılmıştır. Rengi koyu kahverengi, yoğunluğu 1,07 gr/cm^3, ph değeri 8'dir. Kimyasal katkıya ait özellikler Tablo 3.7'de verilmiştir.

Tablo 3.7. Kullanılan kimyasal katkının özellikleri

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

3.1.5. Su

Karışımları hazırlarken kullanılan suyun özellikleri çimentonun, ÖYFC'nin ve süper akışkanlaştırıcının kimyasal yapısını bozmayacak özelliklerde olup TS EN 1008'e uygun olması gerekmektedir. Kullanılan su hiçbir depolama işlemine maruz kalmadan direk Kocaeli İli İzmit İlçesi'ne ait şebeke suyundan tedarik edilerek kullanılmıştır.

3.2.Kullanılan Aletler

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

3.2.1. Laboratuvar

Çalışmaların tamamı Kocaeli Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Malzemesi Laboratuvarı'nda yapılmıştır. KYB numuneleri için tedarik edilen çimento, ÖYFC, hiper akışkanlaştırıcı, doğal kum, kırma kum ve kırma taş agregaları; 20 ± 2^{o}C sıcaklığa sahip, malzemelerin birbirine karışmaması için ayrı ayrı bölmeleri bulunan, rutubet ve su ile teması kesilmiş malzeme odasında istiflenmiştir. Laboratuvarın içinde malzeme odasının yanı sıra kür odası, deney odası ve bilgisayar odası ve etüv odası da bulunmaktadır. (Şekil 3.6)



Şekil 3.6. Laboratuvar

3.2.2. Elek takımı

Kırma taş, kırma kum ve doğal kumun granülometrik bileşiminin bulunması için TS EN 932-1 (1997) standardına göre hazırlanmış olan numuneler üzerinde 2,25 – 16 mm elek takımı kullanılmıştır. Elek analizi deneyi TS EN 933-1 (2015) esas alınarak yapılmıştır [35]. (Şekil 3.7)



Şekil 3.7. Elek takımı

3.2.3. Hassas ve elektronik terazi

Malzemelerin, karışım tablosuna göre yapılan ölçümlerinin tamamı Şekil 3.8'de görülen hassa terazi ve Şekil 3.9'da görülen elektronik terazide yapılmıştır. Tartımlar yapılmadan önce cihazların kalibrasyonu yaptırıldı ve kullanılan kapların tek tek daraları tartıldı.

1 m^3 olarak hesaplanan karışımlar mikserde 1 sefer de 30 dm^3 gelecek şekilde 2 seferde bu terazilerde ölçüler hazırlandı..



Şekil 3.8. Hassas terazi



Şekil 3.9. Elektronik tartı

3.2.4. Beton mikseri

Hazırlanan karışımlar yukarıdan karıştırma özelliği olan 56 dm^3 kapasiteli laboratuvar tipi beton mikserinde belli sürelerde karıştırılmıştır. Her çalışmadan önce ve sonra karışımdaki su miktarını etkilememesi ve karışıma zararlı maddeler girmemesi için yıkanarak temizlenmiştir. (Şekil 3.10)



Şekil 3.10. 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 hunisinin üst çapı 51 mm, alt çapı 102 mm, yüksekliği ise 300 mm olup Şekil 3.11'de verilmiştir. (Şekil 3.11)



Şekil 3.11. Slump hunisi

3.2.6. Birim ağırlık kabı

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 kabının ağırlığı 3308 gram olup şekil 3.12'de verilmiştir.



Şekil 3.12. Birim ağırlık kabı

3.2.7. Kalıplar

Hazırlanan numuneler sabit süreler ile beton mikserinde karıştırıldıktan sonra, basınç ve yarmada çekme deneyleri için plastik 100 mm x 200 mm'lik silindir, eğilme deneyi için çelik 100 mm x 400 mm'lik prizma ve aşınma deneyi için plastik 71 mm x 71 mm'lik küp kalıplara dökülmüştür.(Şekil 3.13-14-15)



Şekil 3.13. Silindir kalıplar



Şekil 3.14. Prizma kalıplar



Şekil 3.15. Aşındırma kalıpları

3.2.8. Kür odası ve kür havuzları

Hazırlanan numuneler 20±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 3.16 ve Şekil 3.17'de görülen kür havuzlarında bekletilmiştir.



Şekil 3.16. Kür odası



Şekil 3.17. Kür havuzu

3.2.9. Isıtıcı ve havalandırması

Basınç deneyi yapabilmek için hazırlanan silindir başlıkların üst kısımlarına kükürt başlık uygulanmıştır. Bu başlık yapımı için yüksek sıcaklıkta kullandığımız ısıtıcı

Şekil 3.18'te verilmiştir. Çıkan zehirli gazları çekmesi için davlumbaz havalandırma kullanıldı.



Şekil 3.18. Isıtıcı

3.2.10. Basınç ve yarmada çekme deney aleti

Kür havuzlarında 7, 28 ve 90 gün bekletilen beton numunelerinin basınç ve yarmada çekme deneyleri Baz Makina Marka 3000 KN kapasiteli kalibrasyon ayarları düzenli olarak yetkili servis tarafından kontrol edilen deney aletinde yapılmıştır. (Şekil 3.19)



Şekil 3.19. Basınç ve yarma deney aleti

3.2.11. Eğilme deney aleti

Kür havuzlarında 7, 28 ve 90 gün bekletilen beton numunelerinin eğilme deneyleri Baz Makina Marka 3000 KN kapasiteli kalibrasyon ayarları düzenli olarak yetkili

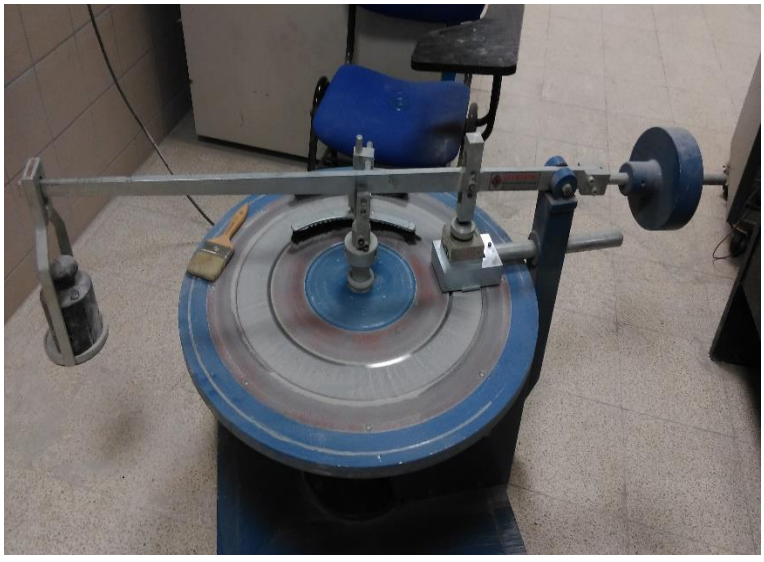
servis tarafından kontrol edilen deney aletinin eğilme presi kısmında 4 eksenli olarak yapılmıştır. (Şekil 3.20)



Şekil 3.20. Eğilme deney aleti

3.2.12. Aşınma (Böhme) deney aleti

28 ve 90 gün bekletilen numunelerin aşınma (Böhme) deneyi, 30 (± 1) devir/dk hızla dönen 750 mm çaplı yatay aşındırma diski, kaldıraç kolu, numune yükleme ağırlığı, karşı ağırlık ve numune tutucu aparattan oluşan, kaldıraç kolu ucunda 5 kg yük bulunan, kalibrasyon ayarları düzenli olarak yetkili servis tarafından kontrol edilen cihazda yapılmıştır.(Şekil 3.21)



Şekil 3.21. Böhme deney aleti

3.2.13. Kumpas

Aşınma (Böhme) deneyi yapılmadan öncesi ve deney sonrasında, hazırlanan 71 mm x 71 mm'lik küp numunelerin yüzey ölçümlerindeki aşınma öncesi ve sonrasında kısalmaların ölçülmesi için Şekil 3.22'deki gibi elektronik kumpas kullanılmıştır.



Şekil 3.22. Kumpas

4.KYB' LERİN HAZIRLANMASI VE DENEY YÖNTEMLERİ

4.1.Karışım ve Numunelerin Hazırlanması

Beton numunelerinin üretiminde TS 802'de belirtilen esaslar dikkate alınarak 45 MPa beton sınıfı elde edilecek şekilde karışım hesapları hazırlanmıştır [38]. 45 MPa beton sınıfına sahip olarak hazırlanan karışımlarda ince agrega olarak doğal kum ve kırma kum, kaba agrega olarak da kırma taş olmak üzere 3 farklı agrega cinsi gerekli eleme ve deneysel işlemlerden sonra karışımda kullanılmıştır.

ÖYFC, ince agrega miktarının ağırlığının %05, %10, %15, %20, %25, %30 oranlarında kırma kum ile ikame edilmiştir. Kontrol betonu yani ÖYFC içermeyen beton numunesi ile birlikte 7 ayrı karışım seti hazırlanmıştır. Hazırlanan karışım setlerinin adlandırılması ÖYFC miktarlarına göre yapılmıştır. Numuneler KYB00, KYB05, KYB10, KYB15, KYB20, KYB25, KYB30 şeklinde adlandırılmıştır. Hazırlanan beton numunelerinin karışım değerlerinin 1 m^3 için kullanılan miktarları aşağıdaki Tablo 4.1'de belirtilmiştir.

Karışımlarda su/bağlayıcı oranı ve hiper akışkanlaştırıcı oranı yapılan deneme dökümleri sonucuna göre kıvamı yakalayacak şekilde artırılırken, çimento ve kaba agrega miktarları sabit tutuldu. Tablo.4.1'de belirtilen değerler her bir numune seti için 56 dm^3'lük mikserde düzgün bir şekilde karıştırmak için 30 dm^3'ten 2 turda, toplam 60 dm^3 döküldü.

Karışımlar hazırlanırken her bir malzeme her seferinde aynı numune kabı kullanılıp, kapların darası alınarak elektronik terazide tartıldı. Tartılan malzemeler miksere dökülmeden önce mikser su ile temizlendi. Miksere ilk olarak ince malzemeler doğal kum, kırma kum, çimento ve ÖYFC döküldü; daha sonrasında kaba agrega dökülerek karıştırılmaya başlandı.

Malzemeler karıştırılmaya devam ederken kimyasal katkı HA, karışım içine ayrı bir kapta su ile çözelti oluşturduktan sonra mikserdeki karışıma ilave edildi. Karışım, TS802'de belirtilen değerler neticesinde belli süre karıştırıldı.

Tablo 4.1. Karışımlarının 1 m^3 için malzeme miktarları

	Özgül Ağırlık (g/cm^3)	KYB00	KYB05	KYB10	KYB15	KYB20	KYB25	KYB30
Çimento (kg/m^3)	3,12	450	450	450	450	450	450	450
YFC (%)		0	5	10	15	20	25	30
YFC (kg/m^3)	2,92	0	55	110	165	220	275	330
Su (kg/m^3)	1,00	193,5	193,5	198	202,5	207	211,5	216
Su/Çimento		0,43	0,43	0,44	0,45	0,46	0,47	0,48
İnce Agrega 1 - Kırmakum (kg/m^3)	2,66	650	595	540	485	430	375	320
İnce Agrega 2 - Doğal Kum (kg/m^3)	2,66	450	450	450	450	450	450	450
İri Agrega (kg/m^3)	2,69	580	580	580	580	580	580	580
Hiper Akışkanlaştırıcı (%)		1,5	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0
Hiper Akışkanlaştırıcı (kg/m^3)	1,23	6,75	6,75	7,2	7,65	8,1	8,55	9
Hava (%)		1,80	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80



Şekil 4.1. KYB' nin hazırlanışı



Şekil 4.2. Kalıpların yağlanması

Şekil.4.1'deki gibi mikserde karışım hesaplarına göre hazırlanan KYB'ler taze haldeyken çökme-yayılma deneyi, T_{50} süresi, birim ağırlık deneyleri yapılmıştır [29].

Üretilen betonlar daha önceden temizlenmiş ve yağlanarak hazırlanmış olan, 100mmx400mm'lik prizma, 100mmx200mm'lik silindir, 71mmx71mm'lik küp kalıplara dökülmüştür (Şekil 4.2).

Ardından numuneler 20±2ºC ve %40-60 bağıl neme sahip olan laboratuvar koşullarında, nemli telis beziyle kür edilerek 3 gün boyunca bekletilmiş, daha sonra kalıplardan çıkarılmıştır. (Şekil 4.3).



Şekil 4.3. Karışımın kalıplara yerleştirilmesi

Kalıplardan çıkarılan numuneler kür havuzlarında bekletilmiştir (Şekil 4.4).



Şekil 4.4. Kür havuzundaki numuneler

Numuneler üzerinde 7, 28 ve 90 günlük basınç, yarmada çekme, eğilme deneyleri ile birlikte 28 ve 90 günlük aşınma deneyleri yapılmıştır.

4.2.Taze Beton Deney Yöntemleri

4.2.1. Çökme-yayılma deneyi

Mikserde karıştırılan taze beton haldeki KYB'ler Abrams konisine hiçbir sıkıştırma işlemi yapmadan doldurulur. KYB dolu olan koni, üzerinde 500 mm ve 800 mm çaplı daireler bulunan tablanın tam orta noktasına yerleştirilir. Daha sonrasında yavaş

bir şekilde kaldırılır. Betonun yatayda yapmış olduğu yayılma çapı Şekil 4.5'teki gibi 3 farklı noktadan ölçülür ve ortalaması belirlenir.

Betonun yayılma çapının 500 mm'ye ilk varış süresi kronometre yardımıyla ölçülerek T_{50} süresi belirlenmiş olur. KYB'nin koninin tamamını boşaltılmasına kadar geçen süre de koni çıkış süresi olarak ölçülür [39].



Şekil 4.5. Çökme yayılma deneyi

4.2.2. Birim hacim ağırlık deneyi

Beton mikserinde karıştırılan taze beton numunelerinin birim hacim ağırlıklarını hesaplayabilmek için birim ağırlık kabı kullanılmıştır. Önce boş kabın ağırlığı ölçülüp ardından taze betonun numunesinin doldurulmasıyla birlikte tartımlar yapılmış daha sonra gerekli formüllerle hesaplar yapılarak numunelerin birim hacim ağırlıkları bulunmuştur. Kullanılan birim ağırlık kabının boş ağırlığı 3308 gramdır. KYB birim hacim ağırlığı, d (kg/m^3) formülleri Denklem(4.1)'deki gibidir;

$$d = (K-C) / V \quad (4.1)$$

V= Kalıp hacmi (dm^3) , K= Kalıpla taze beton birlikte olan ağırlığı, C= Yalnız boş kalıp ağırlığını ifade etmek üzere bu formülle hesaplanır [40].

4.3.Sertleşmiş Beton Deney Yöntemleri

4.3.1. Basınç dayanım tayini

Kür havuzlarında bekletilen beton numunelerinin basınç deneyleri Baz Makina Marka 3000 KN kapasiteli kalibrasyon ayarları düzenli olarak yetkili servis

tarafından kontrol edilen TS EN 12390-4 standartlarına uygun deney aletinde yapılmıştır [41]. Basınç deneyi yapılacak olan silindir numuneler ıslak olmamalı ve çıkıntı parçalar temizlenmelidir. Deney yapılmadan önce üst yüzey pürüzlülüğünü gidermek ve gelen yükün düzgün bir şekilde yayılması ve doğru sonuçlar elde edebilmek için Şekil 4.6'ta görüldüğü gibi kükürt başlıklar yapıldı.



Şekil 4.6. Kükürt başlık yapımı

Kükürt başlıkları hazırlamak için kaba halde tanecikler halinde bulunan sarı renkli ametal kükürt malzemesi %70 oranında, grafiti ise %30 oranında ısıtıcıda karıştırılarak 120^{o}C 30 dakika boyunca ısıtılır. Daha sonra erimiş haldeki kükürt düz bir zemine koyulan başlık metalinde silindir numunelerin başlık kısmına eşit bir şekilde kükürt başlık uygulaması yapılır. Bu uygulama sırasında uygulayan personel gerekli güvenlik önlemlerini alması ve açığa çıkan zararlı kokulardan zehirlenmemek için havalandırma işlemlerini de yapması gerekir. Düzgün ve eşit bir şekilde yapılmayan başlıklar basınç deneyinde yük dağılımını tam olarak numuneye aktaramayacağından dolayı doğru sonuçlar almaması engellemektedir. Kükürt başlık ile hazırlanan KYB numuneleri makinaya yerleştirmeden önce alt kısmına plak konularak, yükleme başlığını ortalayacak şekilde, Şekil 4.7'deki gibi yerleştirilir.



Şekil 4.7. Basınç dayanım tayini

Yerleştirildikten sonra 0,2-1 MPa/s arasında sabit hızla yüklenir. Numunenin kırıldığı en yüksek kuvvet belirlenir ve aşağıdaki Denklem(4.2)'de;

$$\sigma = F/A \tag{4.2}$$

yerine yazılır.

Denklemdeki F; kırılmayı sağlayan en yüksek yük değeri (KN); A; silindir numunenin alanı (mm^2); σ; basınç dayanımını (MPa) olarak ifade edilir [40,41].

4.3.2. Yarmada çekme dayanım tayini

Kür havuzlarında bekletilen beton numunelerinin yarmada çekme deneyleri basınç deneyi için kullanılan makine ile aynı makine kullanılır. Basınç deneyi yapılacak olan silindir numuneler ıslak olmamalı ve çıkıntı parçalar temizlenmelidir. Daha sonra Şekil 4.8'de görüldüğü gibi çelik çekme cihazına sıkıştırma çubukları ortalayacak şekilde yerleştirilir. Yerleştirildikten sonra 0,04 - 0,06 MPa/s arasında sabit hızla yüklenir. Numunenin kırıldığı en yüksek kuvvet belirlenir. Yarma dayanım değeri aşağıdaki Denklem (4.3) gibi;

$$fct = (2 \times F) / (\pi \times L \times d) \tag{4.3}$$

hesaplanır [40].

Bu denklemde fct; yarmada çekme dayanımını(MPa), F; yarma değeri için en yüksek kuvveti(N), L; numunenin uzunluğunu(mm), d; numunenin çapını(mm) ifade etmektedir.



Şekil 4.8. Yarma dayanım tayini

4.3.3. Eğilme dayanım tayini

Kür havuzlarında bekletilen 100 mm x 400 mm'lik prizma beton numunelerinin deneyleri Baz Makina Marka 3000 KN kapasiteli kalibrasyon ayarları düzenli olarak yetkili servis tarafından kontrol edilen TS EN 12390-4 standartlarına uygun deney aletinin kiriş kısmında yapılır. Makinenin kiriş kısmında biri sabit biri hareketli olmak üzere iki mesnet bulunur. Üst yükleme kısmında 2 adet eşit mesafeli silindirik yükleme başlıkları ile mesnetlere eşit mesafe de yerleştirilen beton numunesine yükleme yapılır. Şekil 4.9'ta görülen deney düzeneğine 4 eksenli eğilme deneyi denir. Üst yükleme kısmında tek silindir bulunan düzeneğe 3 eksenli eğilme deneyi denir. Bu çalışmada yapılan deneyler 4 eksenli eğilme dayanım tayin cihazında yapıldı. 400 mm uzunluğunda prizma numunenin alt iki mesnet arasında 300 mm, ve mesnetlerin dış kısmında 50 mm kalacak şekilde yerleştirildikten sonra 0,04 - 0,06 MPa/s arasında sabit hızla yüklenir. Numunenin kırıldığı en yüksek kuvvet belirlenir. Eğilme dayanım değeri aşağıdaki Denklem (4.4) gibi;

$$fcf = (Lp \times F) / (d_1 \times d_2) \quad (4.4)$$

hesaplanır [40,42].

Bu denklemde; fcf; eğilme dayanımını(MPa), F; kırılma değeri için en yüksek kuvveti(N), Lp; numunenin uzunluğunu(mm), d_1; numunenin genişliği (mm); d_2; numunenin yüksekliğini ifade etmektedir.



Şekil 4.9. Eğilme dayanım tayini

4.3.4. Aşınma (Böhme) deneyi

Aşınma (Böhme) deneyi ise 30 (±1) devir/dk hızla dönen 750 mm çaplı yatay aşındırma diski, kaldıraç kolu, numune yükleme ağırlığı, karşı ağırlık ve numune tutucu aparattan oluşan Şekil 4.10'da ki cihazda yapılmıştır.

TS-2824'e göre hazırladığımız kenar uzunlukları 71 mmx71 mm ±1,5 mm ve taban alanı 50 cm^2 olan küp numunelerin birbirini takip eden 4 yüzeyi aşınmaya tabi bırakılmıştır [43].

Hazırlanan numunenin üst yüzeyi numune tutucunun tablanın iç yüzeyine bakan tarafına gelecek şekilde yerleştirildikten sonra aşınma diskinin üst yüzeyine 20±0,5 gr aşındırma tozu (alüminyum oksit) düzgün bir şekilde dağıtılır. Numunenin diğer 4 yüzeyi otomatik sayaçlı olan cihaz ile 22 devir yaparak aşınmaya tabi tutulur. Her bir devir sonunda da aşındırma tozu yenilenir [44].

Her 4 devirde bir numune tartılarak bu işlem 4 defa yapılır. Bu şekilde numuneye toplam 16 devir aşındırma işlemi uygulanır. Bu 16 devir sonunda numunelerin yüzeyleri elektronik hassas kumpas ile ölçülür ve numunenin son hali hassas terazide tartılır.

Tartım sonrasında numunedeki ağırlık kaybı ve yüzeylerdeki kısalmalar hesaplanarak hacimsel kayıp TS 699 standardına göre hesaplanarak aşınma deneyi tamamlanmış olur [44,45].



Şekil 4.10. Böhme deneyi yapılışı

5.BULGULAR VE TARTIŞMA

5.1.Taze Beton Deneyleri

Bir betonun KYB olarak değerlendirilmesi için Abraham konisinde deney yapılarak elde edilen yayılmasının 550 ile 850 mm arasında olması gerektiği bilinmektedir [19]. EFNARC'a (European Federation of National Trade Associations) göre Tablo 5.1'de yayılma değeri 3 ayrı sınıfta değerlendirilmiştir. Yayılma çapının 50 cm genişliğe erişme süresi (T50) ve huniden çıkış süresi ise 2 ayrı sınıfta değerlendirilmiştir. Tablo 5.2'de görüldüğü üzere 1.sınıf (VS1) in T50 süresi 2 s'den az, huniden çıkışı 8s den az ve 2.sınıf (VS2) için T50 süresi 2s den fazla, huniden çıkış süresi 9-25s arasında olmalıdır [27].

Tablo 5.1. EFNARC'a göre yayılma değerleri

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

Tablo 5.2. EFNARC'a göre T50 süre değerleri

Sınıf	T50(saniye)	Koni Çıkış (saaniye)
VS1	<2s	<8s
VS2	2s<	9s<K.Ç<25s



Şekil 5.1. Yayılma deney ölçümü

Yayılma deney sonucunu tayin etmek için yayılan beton 3 ayrı noktadan Şekil 5.1' deki gibi ölçülüp ortalaması alınmıştır. T50 süresi; betonun Abraham konisinden çıktıktan sonra 50 cm yarıçapa ulaşması için geçen süredir. T50 süresi ve koni çıkış süresinin tayinleri için Abraham konisini belli hız da yavaşça kaldırırken kronometre ile betonun ilk 50 cm'e ulaştığı süreler ölçüldü. Hesaplanan yayılma çapları, T50 süreleri, birim ağırlık değerleri ve hava oranları Tablo 5.3'de verilmiştir.

Tablo 5.3. KYB' lerin taze beton deney sonuçları

Beton Kodu	İnce Agrega (kg)	Kırma Kum (kg)	YFC (kg)	Çökme/Yayılma(mm) - T50s	Birim Ağırlık (kg/m3)	Hava (%)
KYB00	1100	650	0	Y=676 t=5	2,380	1,6
KYB05	1100	595	55.00	Y=630 t=8	2,382	1,7
KYB10	1100	540	110	Y=620 t=9	2,384	1,5
KYB15	1100	485	165	Y=610 t=10	2,387	1,2
KYB20	1100	430	220	Y=610 t=9	2,390	1
KYB25	1100	375	275	Y=620 t=11	2,393	0,7
KYB30	1100	320	330	Y=600 t=12	2,396	0,4

Tablo 5.3'deki tablodaki yayılma çaplarına bakıldığında EFNARC 2005'e göre referans numunesinin SF2 sınıfını sağladığı, diğer karışımların ise SF1 sınıfını sağladığı görülmektedir. En fazla yayılma değeri referans numunesinde, en düşük yayılma değeri ise KYB30 numunesinde elde edilmiştir.

T50 sürelerinin ve koni çıkış sürelerinin ÖYFC ikamesi arttıkça uzadığı görülmektedir. EFNARC 2005'e göre ÖYFC ikameli numuneler VS2 sınıfında sonuçlar vermiştir. Numunelerde ince agregalardan kırma kum yerine birim ağırlığı daha fazla olan ÖYFC ikamesi arttıkça birim ağırlıklarının arttığı, hava miktarının

azaldığı görülmüştür. KYB30 numunesi birim ağırlığı en fazla olan ve hava boşluğu en olan numunedir.

5.2.Sertleşmiş Beton Deneyleri

5.2.1. Basınç dayanımı

45 MPa beton sınıfı olarak tasarlanan referans numunesi ve ÖYFC içeren KYB numune setlerinin 7 günlük, 28 günlük ve 90 günlük basınç dayanım değerleri Tablo 5.4'te verilmiştir.

Tablo 5.4. KYB' lerin basınç dayanım değerleri

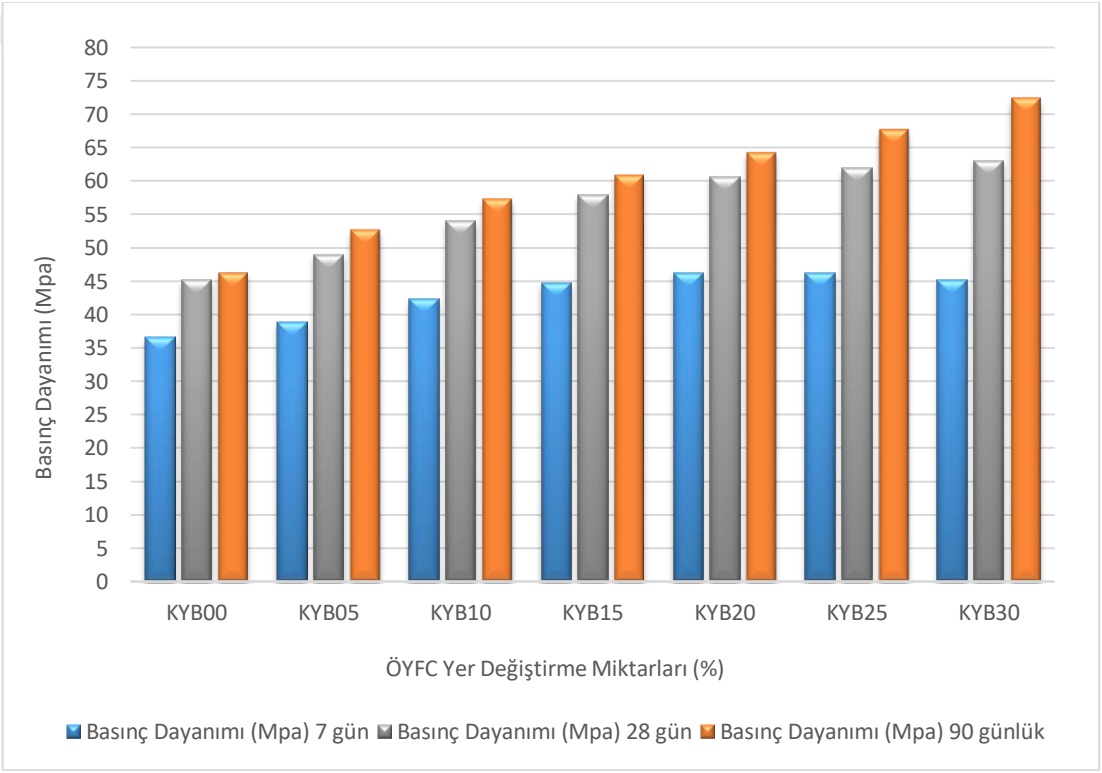
Beton Kodu	Basınç Dayanımı (MPa)		
	7 gün	28 gün	90 gün
KYB00	36,56	45,08	46,24
KYB05	38,91	48,94	52,67
KYB10	42,20	53,96	57,21
KYB15	44,78	57,86	60,76
KYB20	46,25	60,61	64,19
KYB25	46,21	61,89	67,64
KYB30	45,22	63,07	72,29

Tablo 5.4'te elde edilen sonuçlara göre 7 günlük en yüksek basınç dayanımına sahip numune 46,25 MPa ile KYB20 beton numunesidir. KYB25 ve KYB30 beton numunelerinin 7 günlük basınç dayanımlarında KYB20 beton numunesine göre bir miktar azalma görülmüştür. 28 günlük ve 90 günlük KYB numunelerinde ise en yüksek basınç dayanımları 63,07 MPa ve 72,29 MPa ile ÖYFC ikame miktarı en fazla olan KYB30 beton numunesinde elde edilmiştir. KYB numunelerinde en az dayanıma sahip beton numunesi referans numunesi olmuştur.

45 MPa olarak tasarlanan KYB numunelerinin tamamı hedeflenen değere ulaşmıştır ve ÖYFC içeren numunelerinin ikame miktarı arttıkça basınç dayanımlarının arttığı gözlemlenmiştir. ÖYFC içeren KYB numunelerinin nihai dayanımları kontrol

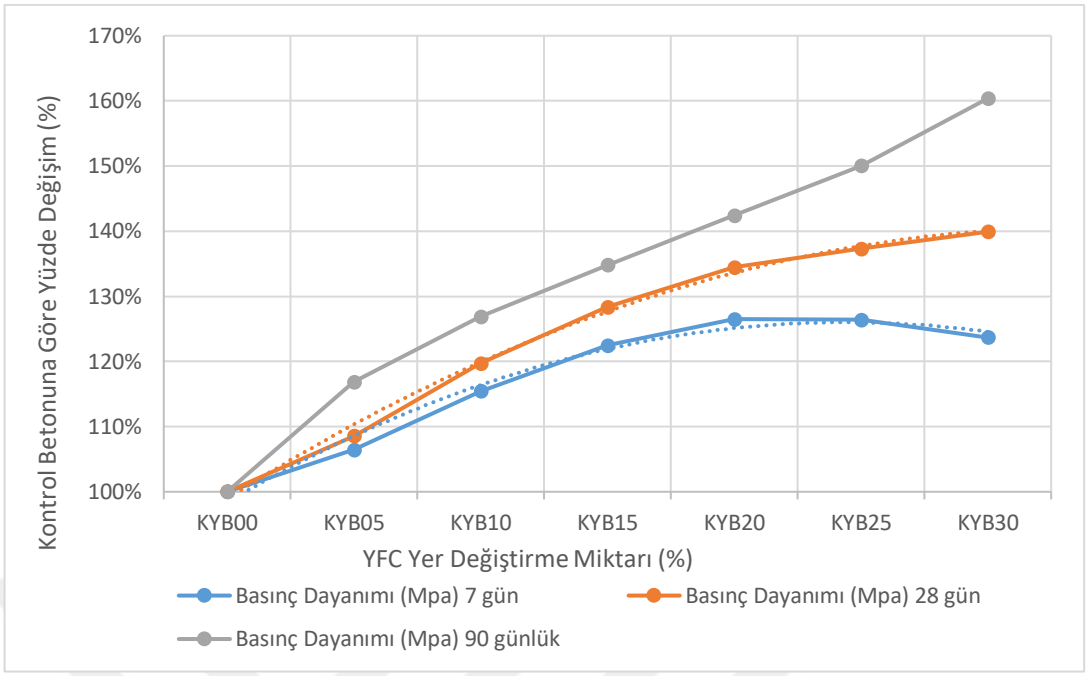
numunesine göre daha fazladır. ÖYFC ikame miktarının artması ile erken dayanımları düşük 28 günlük ve 90 günlük basınç dayanımlarına bakıldığı zaman nihai dayanımları yüksek olduğu görülmüştür.

KYB20 numunesi 28 günlük basınç değerlerine bakıldığı zaman 45 MPa olarak tasarlanmasına rağmen 60 MPa beton dayanım sınıfına ulaşmıştır. KYB15 beton numunesi de 90 günlük nihai dayanımında 60 MPa beton dayanım sınıfını sağlamıştır. ÖYFC miktarı %30 olan KYB30 numunesi de 45 MPa olarak tasarlanmasına rağmen 90 günlük nihai dayanımında 70 MPa beton dayanımın sınıfına ulaşmıştır.



Şekil 5.2. Basınç dayanımları arasındaki ilişki

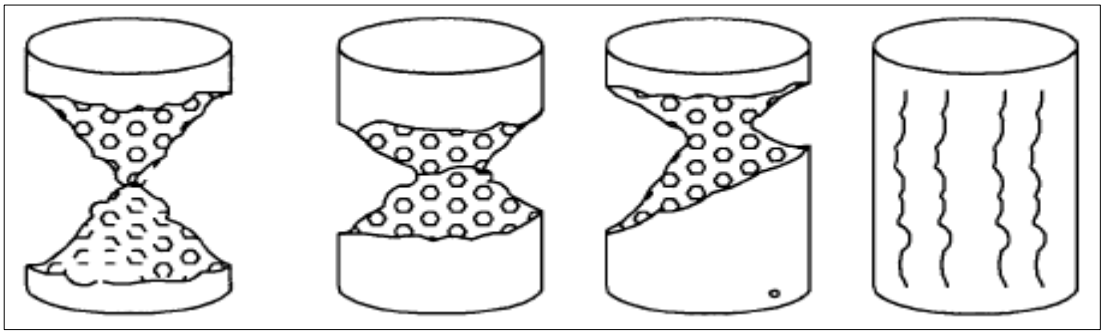
Şekil 5.2'deki grafikte 7, 28 ve 90 günlük KYB numunelerinin basınç dayanımlarının arasındaki ilişki verilmiştir. İnce agrega ile ÖYFC ikamesi olmayan KYB00 numunesinin erken dayanımı ÖYFC içeren numunelere göre daha azdır. KYB00 numunesi tüm numuneler arasında en düşük dayanım değerine sahiptir. 28 ve 90 günlük kür işlemi sonundaki nihai dayanım artışlarına bakacak olursak, ÖYFC içeren numunelerin dayanım artış miktarları referans numunesine göre daha fazla olduğu görülmektedir.



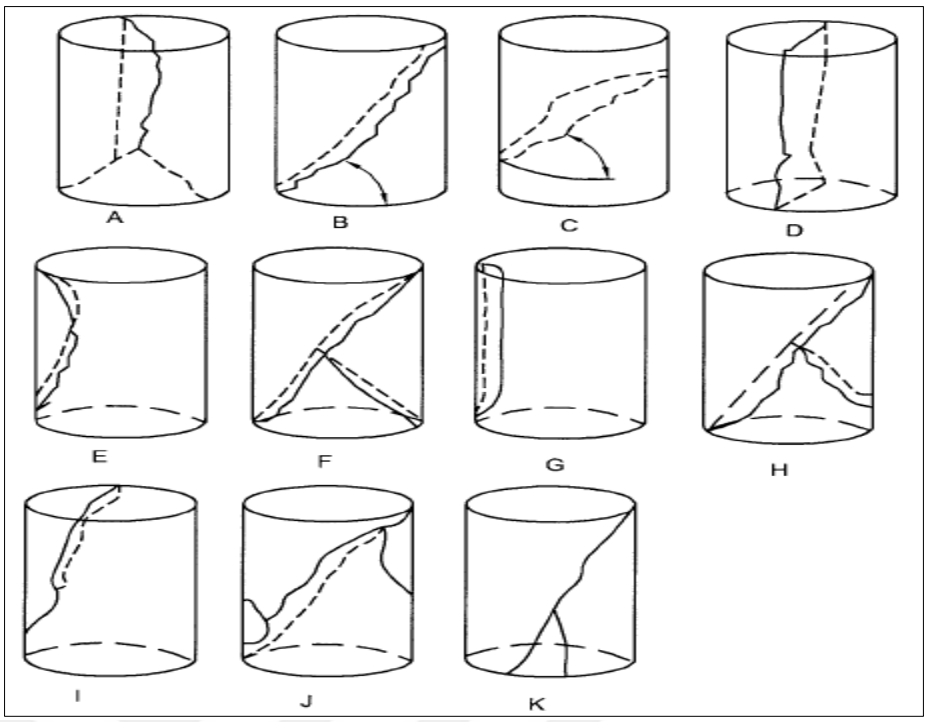
Şekil 5.3. Basınç dayanımları arasındaki ilişki

Basınç dayanımlarının arasındaki yüzdelik ilişki Şekil.5.3'teki grafikte gösterilmiştir. ÖYFC ikamesinin artmasıyla 28, 90 günlük nihai basınç dayanımlarda doğrusal bir artış söz konusuyken, 7 günlük erken dayanımlarda KYB20 numunesine kadar doğrusal daha sonra da doğrusal bir azalma gözükmektedir. 28 günlük referans numunesine göre en fazla artış %40 ile KYB30 beton numunesindedir. 90 günlük beton dayanımlarına bakıldığı zaman ise yine KYB30 numunesi 90 günlük referans numunesine göre %60 oranında artmıştır.

Basınç dayanımında belli eksenel yükler altında kırılan numunelerinin beklenen kırılmadan sonraki halleri Şekil 5.4'de gösterilmiştir. Kırılan numunelerden farklı şekilde çapraz ve parça kopması gibi beklenmeyen kırılma şekilleri de Şekil 5.5'de gösterilmiştir [40].



Şekil 5.4. Beklenen kırılma şekilleri



Şekil 5.5. Beklenmeyen kırılma çeşitleri

Kükürt başlıklar ile hazırlanan KYB'lere yapılan basınç dayanım deneyleri sonunda KYB25 ve KYB30 numunelerinin kırılma yönleri Şekil 5.6'da 90 günlük KYB25 ve Şekil 5.7'de ise 90 günlük KYB30'un kırılma şekilleri gösterilmiştir.

Basınç deney sonucunda kırım şekilleri incelendiğinde Şekil 5.4'te gözüktüğü gibi numunelerde beklenen kırılmalar gerçekleşti. Şekil 5.5'te beklenmeyen kırılmalarda gözüktüğü gibi numunelerden parça kopması ve ya düzgün olmayan çatlaklar oluşmadığı gözlemlenmiştir.



Şekil 5.6. 90 günlük KYB25' in kırılması



Şekil 5.7. 90 günlük KYB30' un kırılması

5.2.2. Yarmada çekme dayanımı

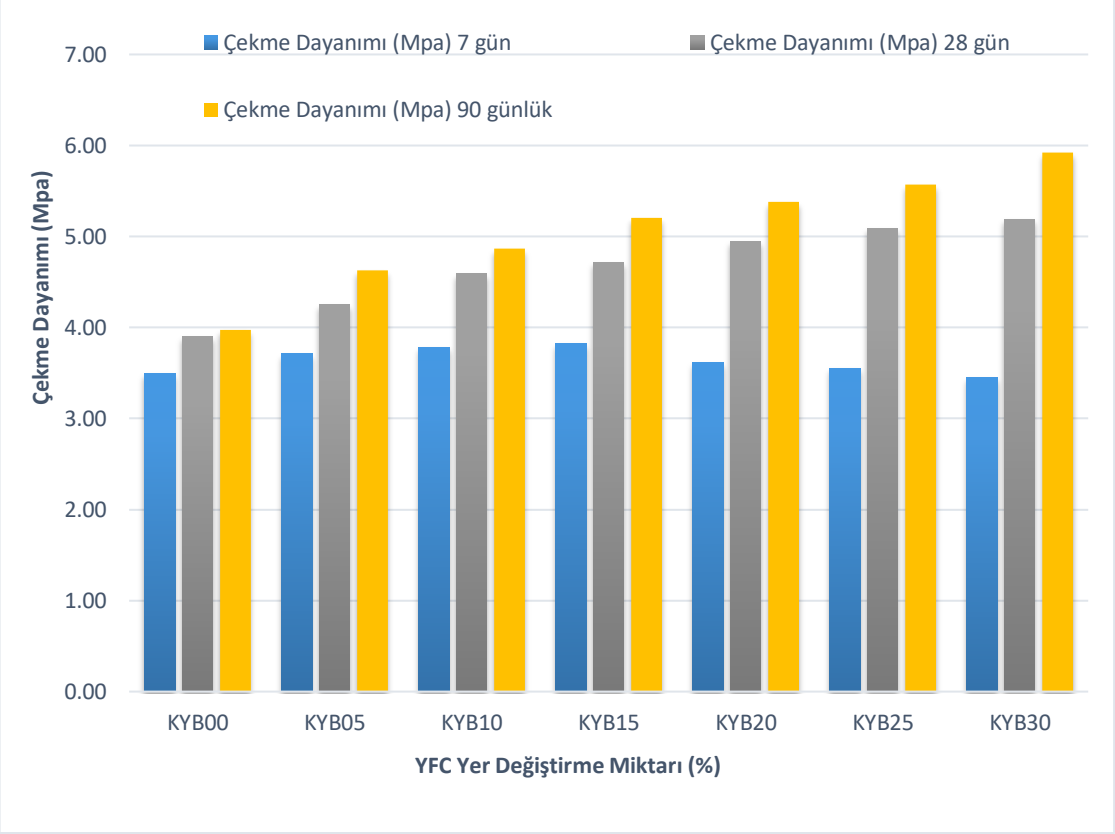
100 mm x 200 mm'lik boyutlu silindir kalıplara 7 farklı KYB karışımları mikserde hazırlanarak kalıplara doldurulmuştur. Hazırlanan numuneler gerekli kür işlemlerinden sonra 7 günlük, 28 günlük ve 90 günlük yarmada çekme dayanım değerleri Tablo 5.5'te verilmiştir.

Tablo 5.5. KYB' lerin yarmada çekme dayanım değerleri

Beton Kodu	Çekme Dayanımı (MPa)		
	7 gün	28 gün	90 gün
KYB00	3,49	3,90	3,98
KYB05	3,71	4,25	4,63
KYB10	3,78	4,59	4,87
KYB15	3,83	4,72	5,20
KYB20	3,62	4,95	5,38
KYB25	3,55	5,09	5,57
KYB30	3,45	5,19	5,92

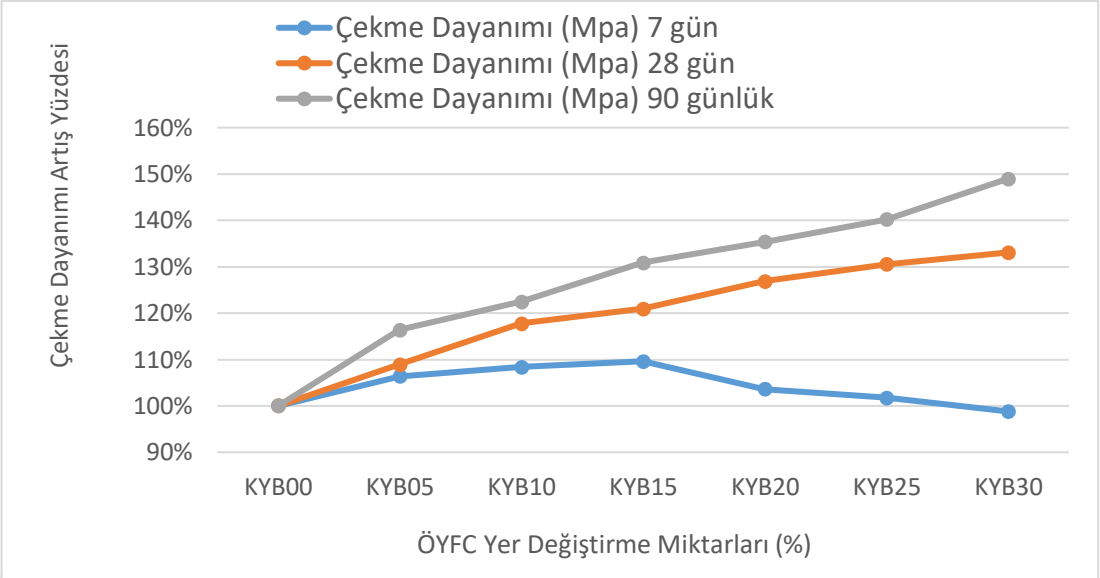
Tablo 5.5'te ki 7 günlük, 28 günlük ve 90 günlük yapılan yarmada çekme deney sonuçlarında elde edilen değerlere göre ÖYFC ikamesinin artmasıyla birlikte çekme dayanım değerleri artmaktadır. 7 günlük erken dayanım değerlerine bakıldığı zaman en yüksek değerin 3,83 MPa ile KYB15 numunesinde olduğu, en düşük çekme dayanım değerinin ise 3,45 MPa ile ÖYFC ikame miktarının en fazla olduğu KYB30 numunesindedir.

ÖYFC ikame miktarının %15'e kadar çekme dayanımda artış söz konusuyken ÖYFC'nin %20, %25 ve %30 ikamesinde 7 günlük erken çekme dayanımında azalmalar görülmüştür. KYB30 numunesinin çekme dayanımı referans numunenin 7 günlük çekme dayanım değerinin altında kaldığı Şekil 5.8'deki grafikten görülmektedir.



Şekil 5.8. Yarma dayanımlarının karşılaştırılması

28 günlük ve 90 günlük nihai dayanımlara bakıldığı zaman kırma kum ile ÖYFC ikame miktarı arttıkça çekme dayanımları erken dayanımlara göre artmaktadır. 7 günlük erken dayanımda çekme dayanım değerleri azalan KYB20, KYB25 ve KYB30 beton numuneleri nihai dayanımlarının arttığı gözlemlenmiştir.



Şekil 5.9. Yarma dayanımlarının karşılaştırılması

Şekil 5.9'a göre 7 günlük, 28 günlük ve 90 günlük numunelerin dayanım eğrilerine 28 ve 90 günlük KYB beton numunelerinde ÖYFC miktarının artmasıyla doğrusal bir artış söz konusuyken 7 günlük erken dayanımlar KYB15'e kadar doğrusal bir artış devamında ise azalış söz konusudur.

28 günlük nihai dayanımlara bakıldığı zaman referans numunesine göre çekme dayanımı oranı olarak %30 ile en fazla artış KYB30 beton numunesindedir. 90 günlük numunelerde ise yine KYB30 numunesi referans numunesine göre %60 oranında çekme dayanımda artış göstermiştir.

Yarmada çekme dayanımında belli yüklemeler altında kırılan numunelerinin son halleri Şekil 5.10'da gösterilmiştir.



Şekil 5.10. Yarma numunelerinin kırılması

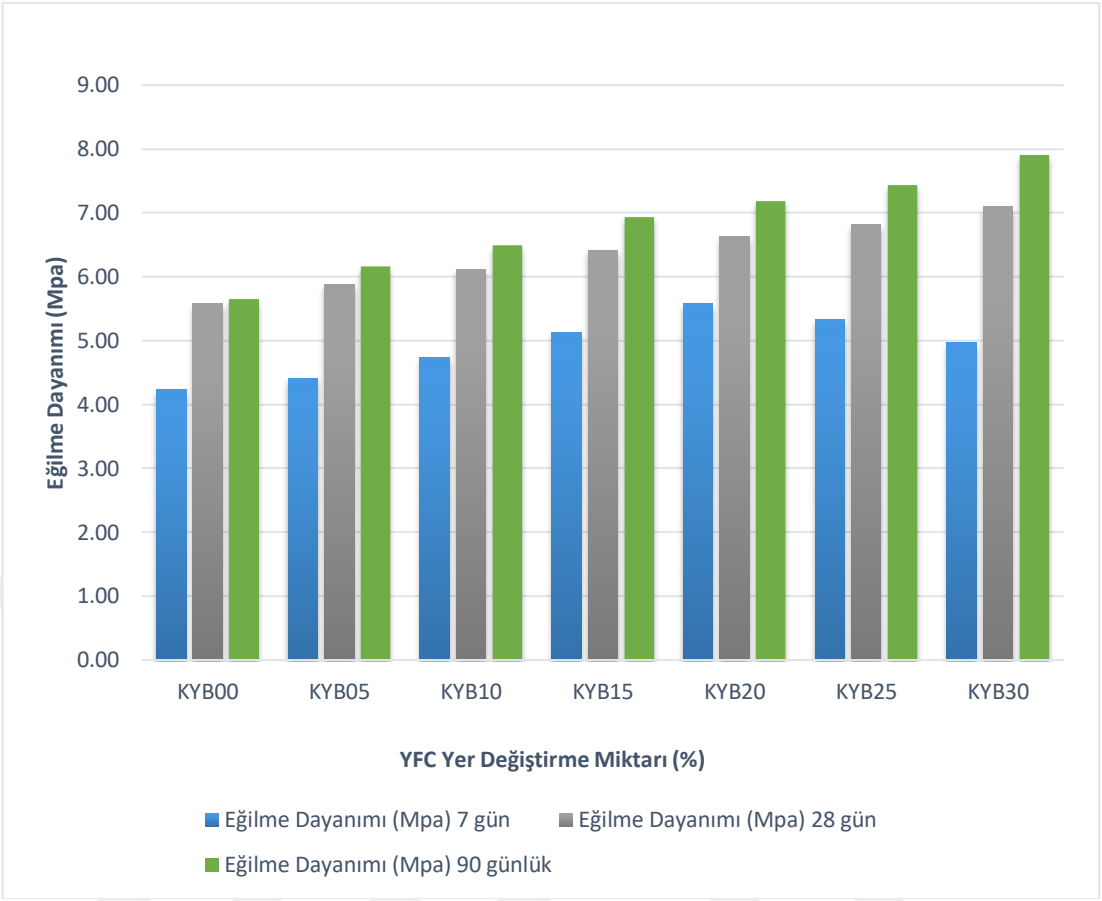
5.2.3. Eğilme dayanımı

100 mm x 400 mm boyutlu prizma kalıplara 7 farklı KYB karışımları mikserde hazırlanarak kalıplara doldurulmuştur. Hazırlanan numuneler gerekli kür işlemlerinden sonra 7 günlük, 28 günlük ve 90 günlük 4 eksenli eğilme deneyleri yapılmıştır. Elde edilen değerleri Tablo 5.6'da verilmiştir.

Tablo 5.6'daki 7 günlük, 28 günlük ve 90 günlük yapılan 4 eksenli eğilme dayanım deney sonuçlarında elde edilen değerlere göre nihai eğilme dayanımlarında ÖYFC ikamesinin artmasıyla birlikte eğilme dayanım değerleri artmaktadır. 7 günlük erken dayanım değerlerine bakıldığı zaman en yüksek değerin 5,57 Mpa ile KYB20 numunesinde olduğu, en düşük eğilme dayanım değerinin ise 4,24 Mpa ile ÖYFC içermeyen KYB00 referans numunesinde olduğu görülmüştür. ÖYFC ikame miktarının %20'e kadar eğilme dayanımda artış söz konusuyken; ÖYFC'nin %25 ve %30 olarak ikamesinde ise 7 günlük erken eğilme dayanımında azalmalar görülmüştür. KYB30 numunesinin erken eğilme dayanımında KYB20 numunesine göre azalış görülse bile referans numunesinin eğilme dayanım değerinden fazladır.

Tablo 5.6. KYB' lerin eğilme dayanım değerleri

Beton Kodu	Eğilme Dayanımı (MPa)		
	7 gün	28 gün	90 gün
KYB00	4,24	5,58	5,65
KYB05	4,40	5,87	6,17
KYB10	4,74	6,12	6,49
KYB15	5,13	6,41	6,94
KYB20	5,57	6,64	7,18
KYB25	5,33	6,82	7,43
KYB30	4,97	7,09	7,90

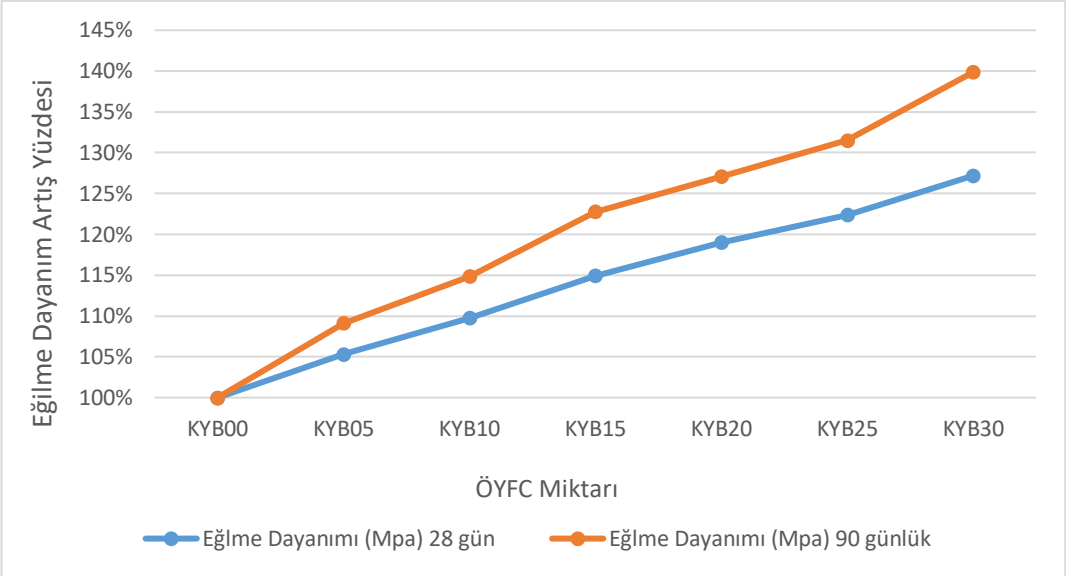


Şekil 5.11. Eğilme dayanımlarının karşılaştırılması

Şekil 5,11'e bakıldığı zaman referans numunesinin 90 günlük nihai dayanımında belirgin bir artış gözlemlenmemiştir. ÖYFC içeren KYB'lerde 28 günlük ve 90 günlük nihai eğilme dayanımlara bakıldığı zaman kırma kum ile ÖYFC ikame miktarı arttıkça eğilme dayanımlarının erken dayanımlara göre artmaktadırlar. 7 günlük erken dayanımda eğilme dayanım değerleri azalan KYB25 ve KYB30 beton numuneleri 28 günlük ve 90 günlük nihai eğilme dayanımlarının arttığı gözlemlenmiştir.

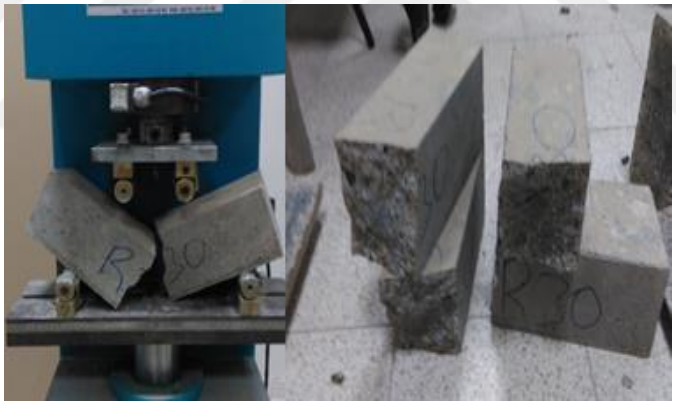
Şekil 5.12'deki grafiğe göre 28 günlük ve 90 günlük numunelerin dayanım eğrilerinde 28 ve 90 günlük KYB beton numunelerinde ÖYFC miktarının artmasıyla doğrusal bir artış göstermiştir.

28 günlük nihai dayanımlara bakıldığı zaman referans numunesine göre eğilme dayanımı oranı olarak %27 ile en fazla artış KYB30 beton numunesindedir. 90 günlük numunelerde ise yine KYB30 numunesi referans numunesine göre %40 oranında eğilme dayanımda artış sağlamıştır.



Şekil 5.12. Eğilme dayanımlarının karşılaştırılması

Eğilme dayanımında kesme kuvvetinin sıfır olduğu momentin en fazla olduğu noktadan kırılan numunelerinin son halleri Şekil 5.13'de gösterilmiştir.



Şekil 5.13. Eğilme numunelerinin kırılması

5.2.4. Aşınma deneyi

71 mm x 71 mm boyutlarında üçlü küp kalıplara dökülerek hazırlanan ve gerekli kür koşullarından sonra 28 günlük ve 90 günlük numunelere aşınma (Böhme) deneyleri yapılmıştır. Şekil 5.14'deki numunelerin aşınmadan önceki halleri, Şekil 5.15'de de aşınma deneyine maruz kalmış numuneler görülmektedir. Referans ve ÖYFC içeren KYB numune aşınma (Böhme) deney sonuçlarına göre bulunan aşınma değerlerindeki hacim kaybını hesaplamak için aşınma deneyi sonundaki ağırlık kaybını hassas terazi de tartarak bulunup daha sonra kumpas ile ölçülmesi sonucu malzeme yoğunluğu hesaplanır.



Şekil 5.14. Aşınma deneyi yapılmamış numuneler



Şekil 5.15. Aşınma deneyi yapılmış numuneler

Hesaplanan değerler aşağıdaki formülde yerine konarak toplam hacim kaybı hesaplanmıştır. TS2824 EN 1338' de standartlarında belirtildiği üzere en fazla hacim kaybı 50 cm^2 de 18 cm^3 olmalıdır. Denklem (5.1)'deki gibi;

ΔV: 16 çevrimden sonra hacim kaybı, (cm^3)

Δm: 16 çevrimden sonra kütle kaybı, (gr)

ρ: Numunenin yoğunluğu, (gr/cm^3)'tür [17].

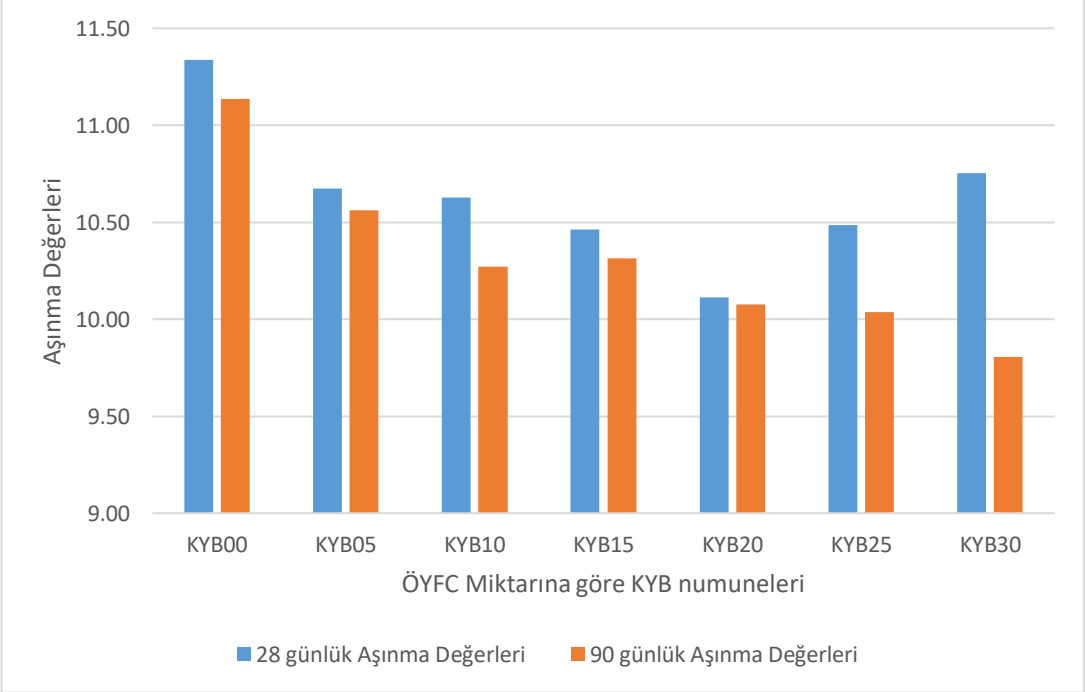
$$\Delta V = \Delta m / \rho \qquad (5.1)$$

hesaplanır ve değerler Tablo 5.7'de verilmiştir [43-45].

Tablo 5.7. KYB' lerin aşınma değerleri

Beton Kodu	KYB00	KYB05	KYB10	KYB15	KYB20	KYB25	KYB30
28 günlük Aşınma Değerleri	11,34	10,67	10,63	10,46	10,11	10,49	10,75
90 günlük Aşınma Değerleri	11,14	10,56	10,27	10,31	10,08	10,04	9,81
Maks. Aşınma Değeri	18 cm^3/ 50cm^2						

Hesaplanan değerlerin 28 günlük ve 90 günlük aşınma kaybı değerleri Tablo 5.7'de görüldüğü gibi 28 günlük aşınma deneyi sonucunda en az aşınma miktarı KYB20 numunesindedir. KYB20 numunesine kadar aşınma miktarında azalma, KYB25 ve KYB30 da ise KYB20 e göre artma görülmüştür. Buna rağmen bütün ÖYFC içeren KYB numunelerinin aşınma değerleri referans numunenin altında kalmış ve TS2824 EN 1338'de öngörülen 18 cm^3/ 50cm^2 değerini sağladığı görülmüştür [24].

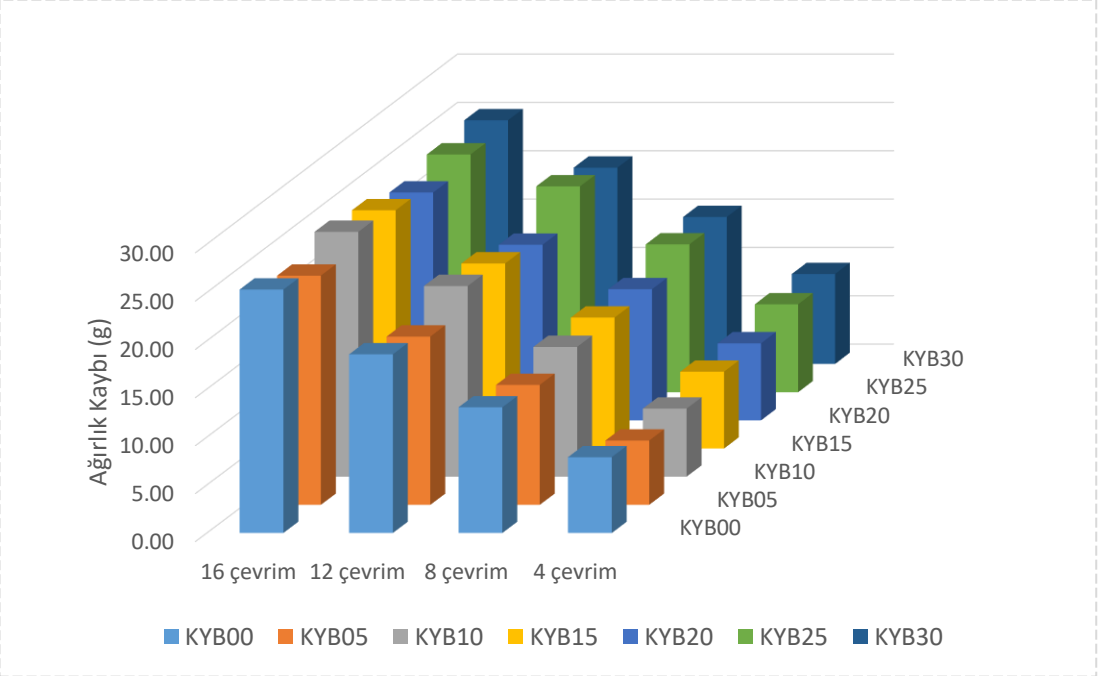


Şekil 5.16. Aşınma değerlerinin karşılaştırılması

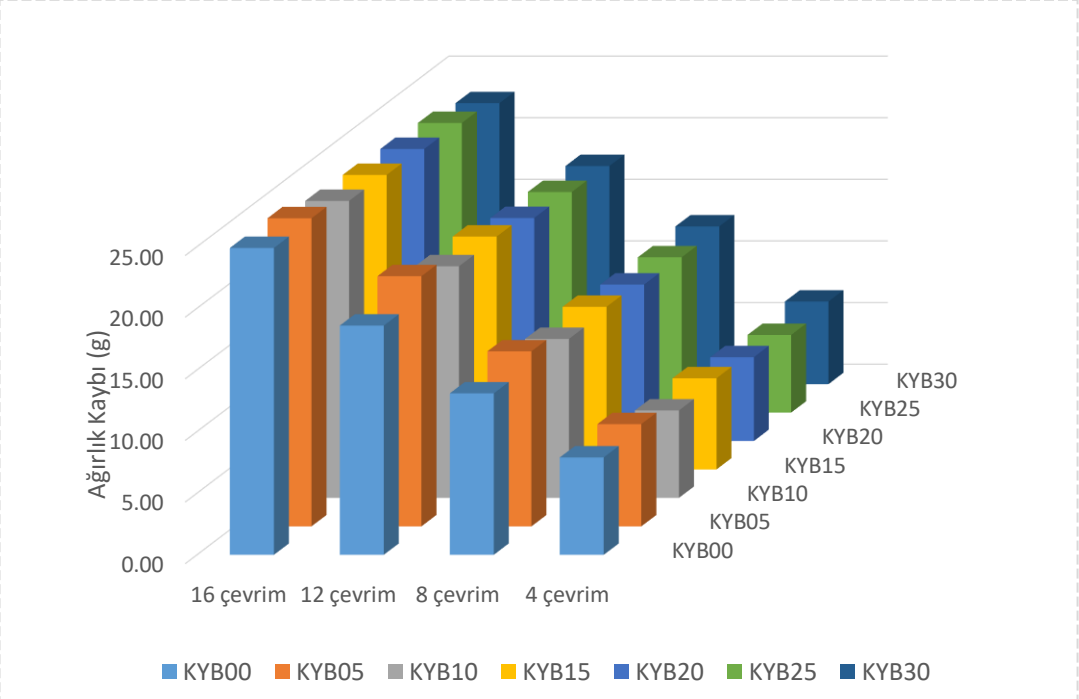
Şekil 5.16'ya göre 90 günlük nihai aşınma direnci değerlerine bakıldığı zaman referans numunesi de dahil bütün numunelerde 28 günlük dirençlere göre iyileşme görülmüştür. 90 günlük aşınma değerlerinde en iyi aşınma direncini yani en az hacim kaybı KYB30 numunesinde olup, en fazla hacim kaybı referans numunesinde

görülmüştür. ÖYFC ikame miktarının artmasıyla KYB numunelerinin aşınma direncinin arttığı, hacimsel kaybının azaldığı tespit edilmiştir.

Referans numunesi ve ÖYFC içeren KYB 7 farklı numunelerin 28 ve 90 günlük ağırlık kayıpları aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir.



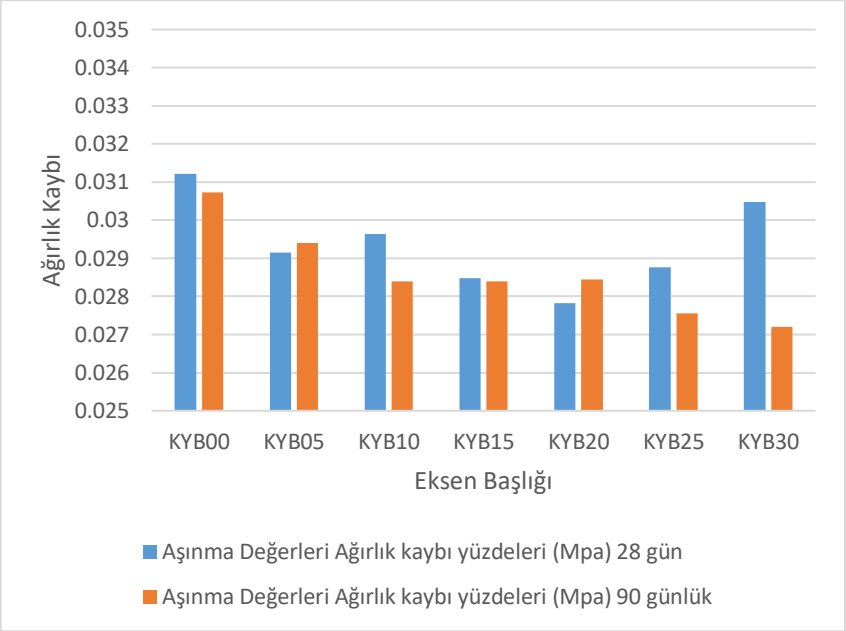
Şekil 5.17. 28 günlük aşınma deneyi ağırlık kaybı



Şekil 5.18. 90 günlük aşınma deneyi ağırlık kaybı

Şekil.5.17, Şekil.5.18 ve Şekil.5.19'ta ki ağırlık kaybı sonuçlarına baktığımız zaman 28 günlük aşınma deneyinde en az ağırlık kaybı %2,78 ile KYB20 numunesinde olup en fazla ağırlık kaybı %3,12 ile ÖYFC içermeyen referans numunesindedir.

90 günlük nihai dayanımlar sonucu ağırlık kaybı sonuçlarını incelediğimizde ise en az ağırlık kaybı % 2,72 ile KYB30 numunesinde olup, en fazla ağırlık kaybı % 3,07 ile ÖYFC içermeyen referans numunesindedir.



Şekil 5.19. Aşınma deneyi ağırlık kaybı yüzdeleri

Aşınma (Böhme) direnci için yapılan deneyler sonucu hesaplanan değerlere bakıldığında ince agrega (kırma kum) ile ÖYFC ikamesinin artmasıyla birlikte aşınma direncinin arttığı, ağırlık kaybının ise azaldığı tespit edilmiştir. Taze beton deneylerine göre ÖYFC miktarının artmasıyla boşluk oranının azaldığı ve bu şekilde numunelerde aşınma deneyleri sırasında daha dayanımlı KYB'ler elde edildiği görülmüştür.

6.MALİYET

Genel olarak KYB üretiminde, çimento ve ince agrega miktarları fazla olup iri agrega miktarının az olması KYB'lerin üretim maliyetlerini arttırmaktadır. KYB'lerde ince agrega yerine ÖYFC kullanılmasıyla birlikte elde edilen numunelerin maliyet analizi Tablo 6.1'de verilmiştir [33].

Tablo 6.1. KYB' lerin 1 m^3 için maliyetleri

Ürün	Birim Fiyat TL /ton	KYB00		KYB05		KYB10		KYB15		KYB20		KYB25		KYB30	
		kg/ m^3	TL / m^3	kg/ m^3	TL / m^3	kg/ m^3	TL / m^3	kg/ m^3	TL / m^3	kg/ m^3	TL / m^3	kg/ m^3	TL / m^3	kg/ m^3	TL / m^3
ÖYFC	112	-	-	55	6,2	110	12,3	165	18,5	220	24,6	275	30,8	330	37,0
Çimento	227	450	102,2	450	102,2	450	102,2	450	102,2	450	102,2	450	102,2	450	102,2
Su	6,84	193	1,3	193	1,3	198	1,4	203	1,4	207	1,4	212	1,4	216	1,5
Doğal Kum	24	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	650	22,3	595	20,4	540	18,6	485	16,7	430	14,8	375	12,9	320	11,0
Kırma Taş	34,36	580	19,9	580	19,9	580	19,9	580	19,9	580	19,9	580	19,9	580	19,9
Kimya katkı	3900	6,8	26,3	6.8	26,3	7.2	28,1	7.7	29,8	8.1	31,6	8.6	33,3	9.0	35,1
TOPLAM (TL / m^3)			**182,86**		**187,13**		**193,19**		**199,24**		**205,30**		**211,36**		**217,41**

Çimento miktarını sabit tutup ince agrega ile ÖYFC'nin ikamesi sonucu elde edilen bu özel betonların kullanılabilirliğini ve optimum değerleri incelenmiştir. Çimento, su, doğal kum, kırma kum, kırma taş ve akışkanlaştırıcının rayiç değerleri Çevre

Şehircilik Bakanlığı'nın 2019 rayiç fiyatları alınarak hesaplandı. ÖYFC fiyatı içinse ÖYFC kullanan en yakın 3 fabrikadan alınan fiyatların ortalaması alınmıştır [46].

Yapılan maliyet analizinde çimento miktarı sabit tutup ince agregayla ÖYFC yer değiştirdiğimizde, ÖYFC miktarı arttıkça toplam maliyet miktarlarımızda artış gözlemlendi. Ancak maliyetimiz de artış olmasına karşı mekanik ve aşınma değerleri daha yüksek nitelikli KYB'ler elde edildi.

7.SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan bu çalışma neticesinde şu sonuçlara varılmıştır;

Çimento ve kaba agrega miktarı sabit tutularak hazırlanan numunelerde yapılan yayılma deney sonuçlarına göre ÖYFC içeren betonlarda; ÖYFC miktarı artmasıyla birlikte yayılma çapı değerinin düştüğü; T50 süresinde ve koni çıkış süresinde referans numuneye göre artışlar olduğu gözlemlenmiştir. Buna bağlı olarak KYB'de ÖYFC miktarının artmasıyla birlikte taze betonun viskozitesinin yükseldiği ve işlenebilirliğinin azaldığı görüldü.

Hazırlanan tüm deney numuneleri EFNARC'ta (2005) istenilen KYB değerleri sağlamaktadır.

Karışımlarda ince agregaya göre daha yoğun bir malzeme olan ÖYFC miktarı arttıkça betonların birim ağırlıklarının referans numuneye göre artış gösterdiği ve içerdikleri hava miktarlarını azaltarak boşluk oranını olumlu etkilediği görüldü.

28 ve 90 günlük nihai basınç dayanımlarına bakıldığı zaman ÖYFC ikame miktarının artmasıyla birlikte basınç dayanımında artış oldu. 28 günlük En fazla artış 63,07 MPa ile KYB30 beton numunesinde elde edilmiş olup hedeflenen 45 MPa beton sınıfına göre %40 daha fazla dayanım sağlanmıştır. 90 günlük de ise en fazla artış yine KYB30 numunesinde olmuş olup 70 MPa beton sınıfını sağladı.

28 günlük ve 90 günlük nihai eğilme dayanımları ve yarmada çekme dayanımları için ÖYFC içeren KYB' ler arasında en yüksek dayanım KYB30 numunesindedir. 7 günlük erken dayanımlara bakıldığında ÖYFC miktarının %20'nin üzerine çıkmasıyla yarma ve eğilme dayanım değerlerinde düşüşler ortaya çıkmasına karşı ÖYFC ikame miktarının artmasıyla 28 ve 90 günlük nihai eğilme ve yarma dayanım değerlerini arttı.

ÖYFC ikame miktarının artmasıyla basınç, eğilme ve yarma dayanım değerleri doğrusal şekilde artış gösterdi. ÖYFC'nin silisli, alimünlü ve kalsiyumlu yapısı

sayesinde karışımda bağlayıcı davranış gösterdiğinden dolayı karışımın su/bağlayıcı miktarını azaltarak basınç, eğilme ve yarma dayanımına olumlu etkisi olmuştur.

Ayrıca ÖYFC'nin hidratasyon ısısını düşürdüğünden dolayı erken dayanımlarda düşüşler, nihai dayanımlarda artışlar sağlanmıştır.

Aşınma (Böhme) deneyi sonuçlarına göre aşınmaya karşı en dirençli 28 günlük numune KYB20 numunesi oldu. KYB25 ve KYB30 numunelerinde KYB20' ye göre düşüşler olmasına karşı kontrol numunesine göre daha iyi sonuçlar elde edildi. 90 günlük nihai aşınma deneyi sonuçlarına bakıldığı zaman en dirençli numune KYB30 numunesi olurken 90 günlük nihai aşınma değerleri referans ve 28 günlük aşınma değerlerine göre daha iyi sonuçlar verdi.

Aşınma deney sonuçları incelendiğinde ÖYFC miktarının artması aşınma direnci arttırdığı görüldü. Buna bağlı olarak karışımlara ÖYFC ikamesiyle birlikte çimento ile agregalar arasındaki boşluklar azalarak daha yoğun ve bağlantıların daha güçlü olduğu betonlar üretilmesi sonucu aşınmaya karşı daha dirençli KYB'ler elde edildi.

ÖYFC miktarının artmasıyla birlikte aşınma direncine karşı gösterdiği olumlu sonuç sayesinde sürtünmeye direk maruz kalan yol betonları, saha betonları ve kamuya açık beton merdivenlerde ÖYFC katkılı daha düşük dayanımlarda betonlar elde edilerek kullanılabilir.

KYB'lerde ÖYFC'nin ince agrega(kırma kum) ile %30 'a kadar ikamesi sonucu üretilen betonlar, mekanik ve fiziksel özelliklerinde olumlu sonuçlara ulaşıldı. 28 günlük nihai dayanımlar incelendiğinde 45 MPa beton sınıfında tasarlanan KYB' nin, ÖYFC' nin %20 ikamesi sonucunda 60 MPa, KYB30 numunesinin ise 90 günlük nihai basınç dayanımında 70 MPa beton dayanım sınıfına ulaştığı görülmüştür. Bu şekilde daha az çimento ve ince agregayla 90 gün bekleyebileceğimiz ÖYFC katkılı yüksek dayanımlı prefabrik yapı elemanları üretilebilir.

Bir yan ürün olan ÖYFC'nin; daha az miktarlarda çimento ve ince agrega kullanılmasıyla hedeflenenden daha yüksek dayanımlı betonlar elde edilebileceği, elde edilen bu betonların da baraj, tünel, yüksek yapılar gibi yüksek dayanım isteyen

projelerde kullanılabileceği görülmüştür. Daha az çimento ile daha dayanıklı betonlar elde edilirken çimento imalatı sırasında açığa çıkan karbon gazlarının salınımı azaltılır. Bu şekilde çimento ve agrega gibi doğal kaynaklar yerine atık / yan ürün olan ÖYFC kullanılarak geri dönüşüm sağlanabilir. Geri dönüşüm sayesinde çevre dostu betonlar elde edilebilir ve doğal kaynaklar daha verimli kullanılabilir.

İnce agrega ile ÖYFC'nin ikamesi sonucu KYB fiyatlarında artış olduğu görüldü. Ancak bu artışlar çevre etkilerine maruz kalacak betonların uzun yıllardaki bakım ve onarım maliyetleri ile karşılaştırılarak incelenmelidir. Ayrıca KYB20 betonu 60 MPa beton sınıfına ulaştı. ÖYFC içermeyen geleneksel betonda 60 MPa beton dayanım sınıfı ile KYB20 numunesi fiyatları değerlendirilmelidir.

Günümüzde taş ocaklarında klasik kırma sisteminde 1 ton agrega için 5,5 KW enerji tüketimi gerekmektedir. Aynı zamanda Türkiye Çelik Üreticiler Derneği'nin verdiği değerlere göre bir yılda 3 milyon ton ÖYFC açığa çıkmaktadır. İnce agrega yerine ÖYFC kullanılarak yılda en az 16500000,00 KW enerji tasarrufu ile sürdürülebilir çevreye katkı sağlanmış olur.

KAYNAKLAR

[1] Kılınç C., Kendiliğinden Yerleşen Betonlar, *Hazır Beton Dergisi*, 2012, **1**(112), 70-76.

[2] Karalar M., Konak S., Granüle Yüksek Fırın Cürufu ve Taban Külü İnce Agregaları ile Üretilmiş Betonun Gerilme Şekil Değiştirme Davranışının İncelenmesi, *BEÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 2019, **8**(3), 1119-1141.

[3] Okamura, H., and Ouchi, M.,Self Compacting Concrete Development, Present Use and Future, *Proceedings of the First International RILEM Symposium*, Stockholm, Sweden, September 13-14, 1999.

[4] Gürdal H, Yüceer Z., Türkiye'de ve Dünya'da Kendiliğinden Yerleşen Beton Uygulamaları, *Hazır Beton Kongresi*, İstanbul, Türkiye, 10-13 Haziran 2004.

[5] Siddique R., Effect of Aggregate Replacement With Class F Fly Ash On The Abrasion Resistance of Concrete, *Milwaukee College of Engineering and Applied Science Cement and Concrete Research*, **33**(2), 2003, 1877-1881.

[6] Özel C., Nadi Kapkan A., Kendiliğinden Yerleşen Beton Özellikleri Üzerinde Agrega Özelliklerinin Etkisi, *Uluslararası Sürdürülebilir Mühendislik ve Teknoloji Dergisi*, 2017, **1**(1), 1-6.

[7] Eroğlu L., Şahmaran M., Yaman Ö., Tokyay M., Karışım Parametrelerini Kendiliğinden Yerleşen Betonun Taze Özellikleri Üzerindeki Etkilerinin Belirlenmesi, *2. Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyumu*, Ankara, Türkiye, 12-13 Nisan 2007.

[8] ÖNER A., Taner Yıldırım S., Öğütülmüş Yüksek Fırın Cürufu İçeren ve İçermeyen Betonlarda Kırma Taş Kumu İçeriğinin Beton Özeliklerine Etkisi, *Deprem Sempozyumu*, Kocaeli, Türkiye, 23-25 Mart 2015.

[9] Yayan V., Demir Çelik Cüruf Raporu, *Çevre ve Şehircilik Bakanlığı*, ISBN:978-605-137-634-9,4-18, Kasım 2015.

[10] URL 1 : https://www.thbb.org/teknik-bilgiler/agrega/, (Ziyaret Tarihi, 01 Aralık 2019)

[11] Gencer N., Taş Ocağı İşletmeciliğinde Kademe Kademe Yaptıklarımız, *Çevreci ve Ekonomik Taş Ocakları E-Mak Group Dergisi*, 2017, **1**(1), 11-18.

[12] Binici H., EKEN M., Dinçer A., Silis Dumanı, Uçucu Kül ve Yüksek Fırın Cürufu Katkılı Betonların Bazı Durabilite Özellikleri, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 2013, **28**(1), 11-20.

[13] Binici H., Hayrullah Sevinç A., Yasin Durgun M., Barit, Bazaltik Pomza, Kolemanit ve Yüksek Fırın Cürufu Katkılı Betonların Özellikleri, *KSÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 2010, **13**(1), 1-14.

[14] Yaprak H., Şimşek O., Aruntaş Y., Uçucu Kül ve Yüksek Fırın Cürufunun Süper Akışkanlaştırıcı Katkılı Beton Özelliklerine Etkisi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2013, **2**(1), 4-13.

[15] Kalkan N., Aruntaş Y., Demir E., Yüksek Fırın Cürufu ve Süper Akışkanlaştırıcının Kendiliğinden Yerleşen Beton Özelliklerine Etkisi, *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, 2016, **5**,(1), 98-106.

[16] Dumangöz M., Karakurt C., Mermer Tozu ve Yüksek Fırın Cürufu Katkılı Kendiliğinden Yerleşen Betonların Reolojik ve Kalıcılık Özelikleri., Yüksek Lisans Tezi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilecik, 2014, 364052.

[17] Dinç Ç., Mineral Katkılı Normal ve Yüksek Dayanımlı Kendiliğinden Yerleşen Betonlar, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir, 2014, 352050.

[18] Orhan E., Kendiliğinden Yerleşen Betonlarda Katkı Oranları Değişiminin Betonun Özelliklerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 2012, 302347.

[19] Aykan G., Gürol G., Tezel O., Yüceer Z., Kendiliğinden Yerleşen Beton Deneyleri, Metodları ve Uygulama Örnekleri, *Betonsa A.Ş.*, 2012 İstanbul.

[20] Özgüler A., Kendiliğinden Yerleşen Betonların Mekaniksel Özelliklerine Agrega Tipinin Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 2007, 232104.

[21] 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.

[22] TS EN 12350-1, Beton-Taze Beton Deneyleri- Bölüm 1, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, Nisan 2003.

[23] Öz Ö. H., Atık Cam Tozu ve Yüksek Fırın Cürufunun İçeren Kendiliğinden Yerleşen Harçların Taze, Mekanik ve Durabilite Özellikleri, *KSU Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 2017, **20**(4), 9-22.

[24] İlhan Y. , 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.

[25] TS EN 206, Beton-Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 2004.

[26] Tokyay M., Betonda UK, GYFC ve SD'nin Rolü: Mevcut Bilgi Birikimi, *Hazır Beton Dergisi*, 2014, **1**(121). 64-84.

[27] EFNARC, *Specification and Guidelines for Self-Compacting Concrete*, Sweden, 2005.

[28] Topçu İ.B., Bilir T. Effect of Bottom Ash as Fine Aggregate on Shrinkage Cracking of Mortars, *ACI Materials Journal*, January-February 2010, **8**(107), 48-56

[29] Kaya T., Dumangöz M., Karakurt C., Mineral Katkılı Kendiliğinden Yerleşen Betonların Porozite ve Basınç Dayanımlarına Yüksek Sıcaklığın Etkisi, *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2014, **1(**1), 39-44.

[30] Uysal M., Mineral Katkılar Kullanılarak Üretilen Kendiliğinden Yerleşen Betonların Mekanik Özeliklerinin ve Dayanıklılığının İncelenmesi , Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2010, 274729.

[31] Bilgen G., Kavak A., Taner Yıldırım, S., Faruk Çapar, Ö., Yüksek Fırın Cürufunun İnşaat Sektöründeki Yeri ve Önemi, *2. Ulusal Katı Atık Yönetimi Kongresi*, Mersin, 2010.

[32] Taşdemir C., Kara G., Ertuğrul C., Özyurt N., Kırma Kumun Betonda Özelliklerine Etkisi*, Ill Ulusal Kırmataş Sempozyumu*, İstanbul, 3-4 Aralık 2003.

[33] Yılmaz Y., Beton Üretiminde Uçucu Kül ve Yüksek Fırın Cürufu Kullanılmasının Etkileri ve Maliyet Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ, 2014, 355436.

[34] Reknes K., Petersen B. G., Self Compacting Concrete with Lignosulphonate Based Superplasticize, *3rd International Symposium on SCC*, Iceland, 2003.

[35] Bingöl A., Balanejı H., Yüksek Fırın Cürufu ve Zeolit Katkılı Betonların Sülfat Direncinin Belirlenmesi, *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 2019, **7**(2), 254–264.

[36] TS EN 933-1, Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 1: Tane Büyüklüğü Dağılımı Tayini - Eleme Metodu Standartları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 2015.

[37] TS EN 15167-1, Öğütülmüş Yüksek Fırın Curufu - Beton, Harç ve Şerbette Kullanım İçin - Bölüm 1: Tarifler, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 2016.

[38] TS. 802, Beton Karışım Tasarımı Hesap Esasları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 1985.

[39] Brouwers H.J.H., Radix H.J.,Self-Compacting Concrete: Theoretical And Experimental Study, *Cement And Concrete Research*, 2005, **35**(2), 2116-2136.

[40] Ünsal A., Şen H., Beton ve Beton Malzemeleri Laboratuvar Deneyleri, *Teknik Araştırma Başkanlığı Ulaştırma Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü Laboratuvar Dergisi*, 2008, **1**(3), 119-162.

[41] TS EN 12390-6, Beton - Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 6: Deney Numunelerinin Yarmada Çekme Dayanımının Tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 2010.

[42] TS EN 12390-5, Beton - Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 5: Deney Numunelerinde Eğilme Dayanımının Tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 2010.

[43] TS 2824 EN 1338, Zemin Döşemesi İçin Beton Kaplama Blokları - Gerekli Şartlar ve Deney Metotları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 2009.

[44] Yüksel İ., Özkan Ö.,Bilir,T., Yüksek Fırın Cürufu İkameli Parke ve Bordür Üretimi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*,2005, **13**(1), 289-296.

[45] TS 699, Doğal Yapı Taşları - İnceleme ve Laboratuvar Deney Yöntemleri, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 2016.

[46] Yüksek Fen Kurulu, İnşaat Birim Fiyat Tarifleri, Editör: Yüksek Fen Kurulu, *2019 Yılı Birim Fiyatlar Kitabı*, **1**(2), Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara, 160-236, 2019.

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

[1] **Ünlü R.**, Öner A., Öztürk O., Kendiliğinden Yerleşen Betonlarda İnce Agrega ile Yüksek Fırın Cürufunun Belli Oranlarda İkame Ettirilmesiyle Elde Edilen Betonların Mekanik Özelliklerine Etkisi, *V. Uluslararası Mühendislik, Mimarlık ve Tasarım Kongresi*, İstanbul 2019

ÖZGEÇMİŞ

1990 yılında İzmit' te doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini İzmit'te tamamladı. 2008 yılında girdiği Bozok Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden 2012 yılında İnşaat Mühendisi olarak mezun oldu. 2017-2020 yılları arasında, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans öğrenimini tamamladı. 2013 yılında askerlik görevini İnşaat Mühendisi Yedek Subay olarak tamamladı. Mezun olduktan sonra 2012-2015 yılları arasında proje müellifi olarak yüzlerce proje tasarımında bulunduktan sonra 2015-2020 yıllarında İzmit Belediyesi Fen İşleri Müdürlüğü'nde İhale Uygulama Birimi'nde İnşaat Mühendisi olarak görev yaptı.