T.C.
KASTAMONU ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İÇSEL KÜRLEMENİN YÜKSEK DAYANIMLI BETON ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

Abdulhadi Fathi Ali ALAMMAR

Danışman	**Prof. Dr. Hasbi YAPRAK**
Jüri Üyesi	**Dr. Öğr. Üyesi M. Yasin DURGUN**
Jüri Üyesi	**Dr. Öğr. Üyesi Gökhan KAPLAN**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MALZEME BİLİMİ VE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

KASTAMONU – 2019

TEZ ONAYI

Abdulhadi Fathi Ali ALAMMAR tarafından hazırlanan "**İçsel Kürlemenin Yüksek Dayanımlı Beton Özelliklerine Etkisi**" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde savunulmuş ve **oy birliği** ile Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Ana Bilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman	Prof. Dr. Hasbi YAPRAK Kastamonu Üniversitesi	.....
Jüri Üyesi	Dr. Öğr. Üyesi M. Yasin DURGUN Bartın Üniversitesi	.....
Jüri Üyesi	Dr. Öğr. Üyesi Gökhan KAPLAN Üniversite Adı	.....

13/09/2019

Enstitü Müdürü Doç. Dr. Nur BELKAYALI .....

TAAHHÜTNAME

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildirir ve taahhüt ederim.

Abdulhadi Fathi Ali ALAMMAR



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

İÇSEL KÜRLEMENİN YÜKSEK DAYANIMLI BETON ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

Abdulhadi Fathi Ali ALAMMAR
Kastamonu Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Ana Bilim

Danışman: Prof. Dr. Hasbi YAPRAK

Portland çimento üretimi, dünyadaki endüstriyel enerjinin yaklaşık %13'ünü tükettiğinden ve küresel CO_2emisyonlarının yaklaşık %7'sinden sorumlu olduğundan beton endüstrisinin çevresel etkisinin azaltılması son yıllarda büyük bir endişe kaynağı olmuştur. Çevre dostu bir inşaat sektörü için, endüstriyel atıkların, yeniden kullanılması yoluyla çevresel etkileri azaltmak için çeşitli alternatifler önerilmiştir. Bu problemleri çözmenin bir alternatifi, endüstriyel atık niteliğindeki uçucu kül (UK), yüksek fırın cürufu (YFC) gibi mineral katkıların kendiliğinden yerleşen (KYB) üretiminde çimento yerine kullanmaktır. UK ve YFC'nun KYB'de kullanılması, KYB'nin yalnızca toplam malzeme maliyetini düşürmekle kalmaz, aynı zamanda çevre için de önemli faydalar sağlar. İlaveten, KYB'nin özellikleri üzerinde mükemmel ve kendine özgü bir etki de oluşturur. KYB kendi ağırlığı ile döküldüğü kalıba yerleşen ve vibratör kullanılmasına gerek duyulmaksızın en sık donatılı bölgelerde ve en dar kesitlerde bile hava boşluğunu dışarı atarak ve sıkışarak seviyelenen, oldukça akıcı kıvamlı bir betondur. Kendi kendine sıkışma yeteneği sayesinde vibrasyon gerektirmez ve işçilikten ve zamandan tasarruf sağlar. Ayrıca gürültü probleminin ortadan kalkması, şehir merkezlerinde ve özellikle gece beton dökümlerinde üstünlük sağlar. Çalışmada bağlayıcı olarak çimento, mineral katkı olarak, UK, YFC, orman endüstrisi atık külü (OAK) kullanılmıştır. Ayrıca genleştirilmiş perlit (GP) de ince agrega olarak kullanılmıştır. 100 x 100 x 100 mm boyutunda dökülen küp numuneler, su kürü ve kür odası olmak üzere iki farklı ortamda bekletilmiş, kür sonrası numunelerin fiziksel, mekanik ve durabilite özellikleri belirlenmiştir. GP'in oluşturduğu içsel kürleme KYB'nun 3 ve 7 günlük basınç dayanımlarını arttırdığı, laboratuvar kürünün erken, su kürünün ise ileriki yaşlarda etkili olduğu belirlenmiştir. Yüksek incelik ve yüksek hacimde (%60) kullanılan mineral katkıların mekanik dayanım ve donma-çözülme direncini arttırdığı gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: KYB, uçucu kül, yüksek fırın cürufu, perlit, orman endüstrisi atığı külü.

2019, 48Sayfa
Bilim Kodu: 91

ABSTRACT

MSc. Thesis

EFFECT OF INTERNAL CURING ON PROPERTIES OF HIGH STRENGTH CONCRETE

Abdulhadi Fathi Ali ALAMMAR
Kastamonu University
Institute of Science
Department of Materials Science and Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Hasbi YAPRAK

Abstract: Reducing the environmental impact caused by the concrete industry has been a major concern in recent years, since Portland cement production consumes about 13% of the world's industrial energy and is responsible for approximately 7% of CO_2 global emissions. In the pursuit of eco-friendly civil construction, several alternatives have been proposed to reduce environmental impacts, through the reuse of industrial wastes, recycled materials, or wastes from construction itself. One alternative to solve these problems is to use the industrial by-products as mineral admixture to replace the OPC in the SCC. Fly ash (FA), Ground granulated blast furnace slag (GGBFS) are two types of mineral admixtures frequently using in the SCC. Utilizing FA, GGBFS for the production of the SCC can not only reduce total material costs of the SCC, but also result in considerable benefits to the environment. In addition, the use of FA, GGBFS in the SCC has a unique and distinctive effect on the properties of the SCC. Self-compacting Concrete (SCC) is a highly flowable concrete that consolidates with its own weight, has the capability to be placed and leveled without the need of vibration and fills into structural members of highly congested reinforcement. Owing to its self-consolidating ability, no vibration is required which saves time and labor. In addition, since no vibration is required, noise pollution is mostly eliminated at construction sites, thus SCC has an advantage especially when concreting at night in residential areas. In this study, OPC used as binders, and FA, slag, and forest industry waste ash were used as mineral admixture. Expanded perlite was also used as fine aggregate for internal curing. The 100 x 100 x100 mm sized poured concrete samples were kept in two different environments as water curing and laboratory curing, after curing, physical, mechanical and durability properties of the samples were determined. Internal curing created by expanded perlite was increased the compressive strength of the SCC for 3 and 7 days, determined that laboratory cure was effective early age and also water cure is effective in later ages. It has been observed that mineral additives used in high fineness and high volume (60%) increase mechanical strength and freeze-thaw resistance.

Key Words: SCC, fly ash, slag, perlite, forest industry waste ash.

2019, 48Pages
ScienceCode: 91

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının hazırlanması esnasında öncelikle çalışmalarım için verdiği desteklerden dolayı Libya Hükümetine, ayrıca bana bu imkanı sağlayan ve eğitim almam konusunda sağladığı destek nedeniyle Kastamonu Üniversitesi ve onun nezdinde Türkiye Cumhuriyeti'ne minnettarlığımı sunarım.

Bu tez çalışmasının tamamlanmasında her türlü yardım ve desteklerini esirgemeyen; başta öğrencisi olmaktan onur duyduğum danışman hocam Prof. Dr. Hasbi YAPRAK, Dr. Öğretim Üyesi Selçuk MEMİŞ ve Dr. Öğretim Üyesi Gökhan KAPLAN'a teşekkür eder, saygılarımı sunarım.

Bu tezde başarılı olma şansı veren herkesin sağladığı yardım ve destek için minnettarlığımı ve minnettarlığımı da belirtmek isterim. Bu nedenle, eğitim sırasında sağladıkları destek ve tezim boyunca sağladıkları destek için babama, anneme ve bütün aileme şükranlarımı sunuyorum.

Abdulhadi Fathi Ali ALAMMAR
Kastamonu, Ekim, 2019

İÇİNDEKİLER

Sayfa

TEZ ONAYI....ii
TAAHÜTNAME....iii
ÖZET....iv
ABSTRACT....v
TEŞEKKÜR....vi
İÇİNDEKİLER....vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ....ix
ŞEKİLLER DİZİNİ....x
TABLOLAR DİZİNİ....xi
1. GİRİŞ....1
1.1. Arkaplan....1
1.2. Araştırma Hedefleri....2
2. LİTERATÜR TARAMASI....4
2.1. KYB'nin Temel İlkeleri ve Gereksinimleri....4
2.2. KYB'nin Özellikleri....5
2.2.1. Taze Özellikleri....5
2.2.2. KYB'nun Mekanik Özellikleri....6
2.3. Malzeme Seçiminin KYB Üzerine Etkileri....6
2.3.1. Çimento....7
2.3.2. Puzolanik Katkılar....7
2.3.3. Agrega....11
2.3.4. Süperakışkanlaştırıcı (SA)....12
2.4. Kür Koşullarının KYB Üzerine Etkisi....13
2.5. İçsel Kürleme Etkisi....14
3. MATERYAL VE METOD....16
3.1. Materyal....16
3.1.1. Çimento....16
3.1.2. Uçucu Kül....17
3.1.3. Granüle Yüksek Fırın Cürufu....18
3.1.4. Orman Endüstrisi Atığı Külü (OAK)....19
3.1.5. İnce ve İri Agrega....20
3.1.6. Su....22
3.1.7. Kimyasal katkı....22
3.2. KYB Karışımların Özellikleri ve Beton Numunelerin Dökümü....22
3.3. Kür İşlemi....25
3.4. Sertleşmiş KYB Numunelere Uygulanan Testler....25
3.4.1. Birim Ağırlık ve Su Emme Deneyi....25
3.4.2. Basınç Dayanımı....25
3.4.3. Ultrases Testi....26
3.4.4. Donma-Çözülme Testi....27
4. BULGULAR VE TARTIŞMA....29
4.1. İşlenebilirlik....29
4.2. Fiziksel Özellikler....30
4.2.1. KYB Numunelerin Birim Ağırlıkları....30

4.2.2. KYB Numunelerin Su Emme Deneyi Sonuçları 31
4.3. Sertleştirilmiş Beton Test Sonuçları.....32
4.3.1. Basınç Dayanımı Test Sonuçları 32
4.3.1.1. *3 Günlük basınç dayanımı sonuçları* 32
4.3.1.2. *7 Günlük basınç dayanımı sonuçları* 33
4.3.1.3. *28 Günlük basınç dayanımı sonuçları* 35
4.3.1.4. *90 Günlük basınç dayanımı sonuçları* 36
4.4. Donma-Çözülme Test Sonuçları 37
4.5. Ultrases Geçiş Hızı Test Sonuçları.....38
5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR 40
5.1. KYB Betonların Taze Özellikleri.....40
5.2. Sertleşmiş KYB Betonların Özellikleri.....40
5.3. Gelecekteki Çalışmalar için Öneriler 42
KAYNAKLAR 43
ÖZGEÇMİŞ 48

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Kısaltmalar

ÇUK	Çatalağzı uçucu külü
GP	Genleştirilmiş perlit
GYFC	Granüle yüksek fırın cürufu
KYB	Kendiliğinden yerleşen beton
OAK	Orman endüstrisi atık külü
PÇ	Portland çimentosu
SA	Süper akışkanlaştırıcı
UK	Uçucu kül
UK	Uçucu kül
YFC	Yüksek fırın cürufu

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.1. KYB'de kullanılan PÇ 17
Şekil 3.2. KYB'de kullanılan ÇUK'ü 18
Şekil 3.3. KYB'de kullanılan GYFC 18
Şekil 3.4. KYB'de kullanılan OAK 20
Şekil 3.5. Bilyalı değirmen..... 20
Şekil 3.6. KYB'de kullanılan agregalar 21
Şekil 3.7. KYB numunelere uygulanan çökme-yayılma testi 24
Şekil 3.8. Kalıplanan KYB numuneler 24
Şekil 3.9. Basınç dayanımı deneyi 26
Şekil 3.10. Ultrasonik test 27
Şekil 3.11. Donma-çözülme test cihazı ve numuneler 28
Şekil 4.1. KYB yayılma test değerleri 29
Şekil 4.2. KYB numunelerin 28 günlük birim ağırlık değerleri 31
Şekil 4.3. KYB numunelerin 28 günlük su emme değerleri 32
Şekil 4.4. KYB numunelerin 3 günlük basınç dayanımı değerleri 33
Şekil 4.5. KYB numunelerin 7 günlük basınç dayanımı değerleri 34
Şekil 4.6. KYB numunelerin 28 günlük basınç dayanımı değerleri 35
Şekil 4.7. KYB numunelerin 90 günlük basınç dayanımı değeleri 37
Şekil 4.8. KYB numunelerin donma-çözülme sonrası basınç dayanımı değerleri (L) 37
Şekil 4.9. KYB numunelerin donma-çözülme sonrası basınç dayanımı değerleri 38
Şekil 4.10. Donma-çözülme sonrası ultrases geçiş hızı değerleri (L) 39
Şekil 4.11. Donma-çözülme sonrası ultrases geçiş hızı değerleri (S) 39

TABLOLAR DİZİNİ

Sayfa

Tablo 2.1. KYB için önerilen sınır değerler ……..... 5
Tablo 3.1. Çimentonun kimyasal, fiziksel özellikleri ve mekanik özellikleri 16
Tablo 3.2. ÇUK'nün kimyasal kompozisyonu..... 17
Tablo 3.3. GYFC'nun kimyasal ve fiziksel özellikleri 19
Tablo 3.4. OAK'nün kimyasal kompozisyonu 19
Tablo 3.5. Agrega elek analizi değerleri 21
Tablo 3.6. Agrega özellikleri 21
Tablo 3.7. SA'nın teknik özellikleri..... 22
Tablo 3.8. KYB numunelerin karışım oranları 23
Tablo 3.9. KYB numunelerin karışım bileşenleri kg/m^3..... 24

1. GİRİŞ

Beton, dünyanın en eski ve günümüzde de yapılarda en çok kullanılan önemli bir yapı malzemesidir. Betonun tasarlanmış dayanım ve dayanıklılığının elde edilmesi, önemli ölçüde betonun kalıba yerleştirilmesi sırasında oluşturulan sıkıştırmaya dayanır. Yetersiz vibrasyon, sertleşmiş betonun performansını önemli ölçüde düşürebilir. Bu nedenle KYB, çok sık donatılı ve karmaşık kesitli yapı elemanlarında betonun yerleşimini kolaylaştırmak, dökülen betonun yeterli ölçüde sıkıştırılmasını ve homojenliğini sağlamak amacıyla getirilmiştir (Deeb, 2013).

KYB, sadece kendiliğinden yerleşme özelliğinin dışında, düşük akma gerilmesine, yüksek deformasyon yeteneğine ve ayrışma direncine, iyi plastik viskoziteye sahip yenilikçi bir betondur. Aynı zamanda mükemmel reolojik özelliklere ve yüksek segregasyon direncine sahip yüksek performanslı betonun özel bir türüdür. KYB aynı zamanda yaygın olarak kendinden yerleşen/sıkışan beton olarak bilinir ve çok sık donatılı uygulamalarda bile, kendi ağırlığı altında sıkıştırmayla vibrasyona gerek kalmaksızın kalıbı tamamen doldurma özelliğine sahiptir. KYB ilk olarak 1980'in sonlarında, Japonya'daki inşaat endüstrisine tanıtıldı. KYB'nin kullanımı sadece inşaat süresini ve işçilik maliyetini azaltmakla kalmaz, aynı zamanda üretim sürecindeki titreşim ve gürültüyü ortadan kaldırarak daha iyi bir çalışma ortamı sağlar. KYB bu avantajlarından dolayı, yüksek binalar, köprüler, tüneller ve açık deniz yapılarında yaygın kullanım alanı bulmuştur (Shetty, 2015; Abhishek, Lohith ve Sravan, 2019; Zhao vd., 2015).

KYB genel olarak, aşağıda ifade edilen üç temel amacı gerçekleştirmek için tasarlanmıştır; (i) insan faktörünün taze betonun sıkıştırma süreci üzerindeki etkisini en aza indirerek daha iyi bir beton kalitesi elde etme arzusu; (ii) titreşim ve gürültü tehdidini ortadan kaldırarak çalışma koşullarında iyileşme sağlamak; (iii) beton üretiminde iş gücü ve enerji tüketimini azaltmak (Ponikiewski ve Gołaszewski, 2014).

Yüksek akışkanlık sağlamak, taşıma ve yerleştirme sırasında ayrışmayı ve kusmayı önlemek için, geleneksel betona göre KYB, önemli miktarda (450-600 kg/m^3) Portland çimentosuna (PÇ) ihtiyaç duyar, be nedenle KYB'nin toplam malzeme maliyeti

geleneksel vibrasyonlu betondan oldukça yüksektir. KYB, ekonomik olmamasının yanında, önemli ölçüde Portland çimentosu kullanımından dolayı çevre üzerinde de olumsuz bir etkiye sahiptir. Çimento talebindeki artışın, küresel ölçekte çimento üretiminden kaynaklanan CO_2 emisyonlarının yakın gelecekte toplam CO_2 emisyonlarının yaklaşık %10'unu oluşturacağı tahmin edilmektedir. Ayrıca, çimento üretim sürecinde her yıl atmosfere yayılan tozlar da solunum yolu rahatsızlıkları ve fiziksel sağlık sorunlarına neden olmaktadır (Zhao vd., 2015).

KYB üretiminde endüstriyel atıkların çimento ile belirli oranlarda yer değiştirilerek kullanılması; "yeşil" veya "çevre dostu" beton üretimi, aynı zamanda sürdürülebilir bir kalkınma stratejisinin önemli bir unsurudur. Beton endüstrisinin çevresel etkilerinin ve üretim maliyetlerinin azaltılması, özellikle KYB'nin agresif ortam etkilerine karşı dirençinin artırılabilmesi için kullanılan en etkili yöntemlerden biridir (Ponikiewski ve Gołasze2014; Matos, Foiato ve Prudêncio, 2019;Adesina ve Awoyera, 2019). UK ve GYFC, KYB üretiminde sıklıkla kullanılan iki mineral katkıdır (Zhao vd., 2015).

UK ve GYFC ülkemizde oldukça önemli miktarlarda bulunan, beton sektöründe de oldukça sınırlı miktarlarda değerlendirilebilen endüstriyel atık niteliğindeki malzemelerdir. Ayrıca orman endüstrisi de kül olarak önemli miktarda endüstriyel atık oluşturmaktadır. Bu çalışmada, GYFC, UK ve OAK'nün KYB beton üretiminde çimento ikame malzemesi olarak kullanılması amaçlanmıştır. Dolayısı ile çalışma, atıkların geri dönüşümünün sağlanması, bu malzemelerin çevreye etkilerinin azaltılması, düşük maliyetli KYB üretimi potansiyeli açısından önemlidir. Çalışma kapsamında 100 x 100 x 100 mm boyutunda KYB beton numuneleri üretilmiş, numunelere iki farklı kür işlemi uygulanmış, kür sonrası numunelerin fiziksel, mekanik ve durabilite özellikleri incelenmiştir.

Çalışmada temel olarak;

1. Ülkemizde GYFC, UK ve OAK gibi endüstriyel atıkların geri dönüşüm oranlarının arttırılarak bu ürünlerin ekonomiye yeniden kazandırılarak, çevreye etkilerinin ve enerji tüketiminin azaltılması,
2. Geleneksel betona alternatif olarak KYB üretiminin yaygınlaştırılması,

3. Farklı karışım ve kür koşullarının KYB'ın fiziksel, mekanik ve durabilite özelliklerine etkisinin araştırılması hedeflenmiştir.

2. LİTERATÜR TARAMASI

2.1. KYB'nin Temel İlkeleri ve Gereksinimleri

KYB genel olarak, çimento, agrega, su, mineral ve kimyasal katkı maddelerinden oluşan, geleneksel titreşimli normal beton ile aynı bileşenlerden oluşur. Bununla birlikte, karışım suyu miktarının azaltılması ve daha iyi işlenebilirlik için yüksek miktarda süperakışkanlaştırıcı, iri agregalar için de "yağlayıcı" olarak yüksek toz içeriği ve betonun viskozitesini arttırmak için de viskozite arttırıcı katkıların kullanılması gerekir (Hameed ve Ahmad, 2005).

KYB, çok sık donatılı ve karmaşık, dar ve derin kesitli yapı elemanlarında homojenliğini koruyarak, ayrışma, terleme ve kusma gibi problemler oluşturmadan, iç/dış vibrasyon gerektirmeksizin kendi ağırlığı ile yerleşip sıkışabilen, plastik viskoziteye sahip bir beton türüdür (Beycioğlu 2013). KYB, bu avantajlarından dolayı, yüksek binalar, köprüler, tüneller ve açık deniz yapılarında yaygın kullanım alanı bulmuştur (Abhishek, Lohith ve Sravan, 2019).

Okamura ve Ozawa, (1996), KYB'nun kendiliğinden yerleşmesini sağlamak için;

a. Sınırlanmış agrega içeriği (beton hacminin %50'si iri agrega, harç hacminin %40'ı ince agraga),
b. Düşük su / toz oranı,
c. Yüksek dozda SA kullanımı,

Tanımlamalarını kullanmıştır. 90 μm'dan iri taneler ince agrega, daha küçük taneler (çimento, silis dumanı, uçucu kül vb. malzemeler) ise toz olarak tanımlanmıştır.

EFNARC (2005), KYB tasarımları için Tablo 2.1'de tanımlanan bazı sınır değerler önerilmektedir. Ancak bu değerler ön tasarımlar için kullanılabilir değerlerdir.

Tablo 2.1.*KYB için önerilen sınır değerler (EFNARC 2005)*

KYB bileşenleri	Kültlece sınır değerler (kg/m3)	Hacimce sınır değerler (l/m3)
Toz	380-600	-
Hamur	-	300-380
Su	150-210	150-210
İri agrega	750-1000	270-360
İnce agrega	Toplam agrega hacminin %48-55’ i arasında	
Su / toz oranı	-	0,85-1,10

2.2. KYB'nin Özellikleri

2.2.1. Taze Özellikleri

Deeb, (2013); Sonebi ve Bartos, (2002); Garcia-Taengua, (2018) 'ya göre, KYB son derece akıcı bir beton olarak, aşağıdaki gereksinimleri karşılamalıdır.

- **Doldurma yeteneği:** KYB’nin homojenliğini koruyarak, vibrasyona gerek kalmaksızın kendi ağırlığı altında şekil değiştirip boşluksuz olarak kalıba yerleşebilmesi çimento hamurunun deformasyon yeteneğine ve agrega taneleri arasındaki sürtünmeye bağlı olup, kalıbı tam olarak doldurma yeteneğini tanımlayan özelliktir. Karışım içerisinde yer alan malzemelerin gradasyonunun geliştirilmesiyle taneler arası sürtünme azaltılabilir, optimum su / toz oranı ve SA kullanımı ile birlikte çimento hamurunun deformasyon yeteneği arttırılabilir. KYB'nun deformasyon yeteneği, beton akışkanlığı ve kohezyonu ile karakterize edilir ve slump testi ile ölçülen yayılma çapı ve yayılma süresi ile değerlendirilir.

- **Ayrışma direnci:** Ayrışma direnci çimento hamurunun plastik viskozitesine ve yoğunluğuna bağlıdır, agreganın yoğunluğu çimento hamurunun yoğunluğundan fazla ve çimento hamurunun viskozitesi de düşükse ayrışma meydana gelir.

- **Geçiş yeteneği:** Geçiş yeteneği, taze betonun dar kesitli yapı elemanları ve çok sık donatılar arasından engellenmeden akmasının bir ölçütüdür. İri agrega miktarı

fazla ve d_{max} büyükse KYB'nin geçiş yeteneğinde azalmalar olabilir. Su / toz oranını düşürmek, viskoziteyi arttırmak, iri agrega hacmini azaltmak ve d_{max}'ı düşürmek segregasyonun azaltılması ve geçiş yeteneğinin arttırılmasında etkin rol oynar (Bul vd., 2002; EFNARC, 2005).

2.2.2. KYB'nun Mekanik Özellikleri

Betonun basınç dayanımı, beton yapılar için tasarım kurallarının önemli bir aşaması olarak kabul edilir. Genel olarak betonun basınç dayanımı; su/bağlayıcı oranı, bağlayıcı/agrega oranı, sıkıştırma derecesi ve betonu oluşturan tüm bileşenlerin karışım oranlarına bağlı olarak değişkenlik gösterir. Bununla birlikte, su/bağlayıcı oranı (toz oranı), beton basınç dayanımı üzerinde birincil derecede ve önemli bir etkiye sahiptir (Ihsan, 2017).

Nguyen vd. (2016), farklı oranlarda üç farklı endüstriyel atık (GYFC, F sınıfı UK, taban külü) kullanarak çimentosuz KYB numuneleri üretmişler, numunelerin 28 günlük basınç dayanımlarının 41,8-65,6 Mpa arasında değiştiğini gözlemlemişlerdir.

Abdalhmid, Ashour ve Sheehan (2019), UK'ü %0-60 oranlarında Portland çimentosu yerine ikame ederek, 0,44 ve 0,33 su/bağlayıcı oranlarında KYB ve geleneksel beton numuneler üretmişler, 30 MPa'ın üzerinde basınç dayanımları elde etmişlerdir.

2.3. Malzeme Seçiminin KYB Üzerine Etkileri

KYB'nun karışım özellikleri geleneksel betona göre farklılık gösterir. KYB'nun tasarımında; toz (ince) malzeme miktarının arttırılması, SA kimyasalların ve vizkozite arttırıcı kimyasal katkıların kullanılması, geleneksel betona göre öne çıkan unsurlardır. UK, YFC, silis sumanı, metakaolin vb. endüstriyel atıklar genellikle toz malzeme olarak kullanılırlar. Düşük su/bağlayıcı oranı, optimum kum/toplam agrega oranı, sınırlanmış d_{max},ve iri agrega miktarı KYB tasarımlarında dikkate alınması gereken diğer parametrelerdir (Şahmaran vd. 2006).

2.3.1. Çimento

KYB'de en yaygın kullanılan çimento türü CEM I türü çimentolar olup, ya tek başına veya mineral katkılarla birlikte kullanılır. PÇ, KYB'nin akışkanlığını ve segregasyon direncini arttırır. Çimento betonun boşluk yapısını azaltarak, daha sıkı bir iskelet yapısı oluşturarak, betonun durabilitesini arttırır (İhsan, 2017).

EFNARC (2005), C_3A oranı % 10'un üzerinde olan çimentoların kullanılmamasını önermektedir. Hameed ve Ahmad (2005), hızlı etrenjit oluşumu ve hidratasyon ısısı artışı ve sülfat direnci açısından C_3A oranı yüksek çimentoların kullanımının sakıncalı olduğunu ifade etmişlerdir.

2.3.2. Puzolanik Katkılar

Puzolanik özellik gösteren mineral katkılar, hem taze betonun işlenebilirlik, hem de sertleşmiş betonun dayanım ve durabilite gibi özeliklerini iyileştirmek, betonun maliyetini ve çevresel etkilerini azaltmak için yaygın olarak kullanılan malzemelerdir. Belirli oranda çimento ikame malzemesi veya katkı malzemesi olarak kullanılabilirler (Druta, 2003). UK, YFC, silis dumanı, tuğla unu, pirinç kabuğu külü, tras en yaygın kullanılan mineral katkılardır.

- ***Uçucu kül***

UK, elektrik enerjisi üreten termik santrallerin bir yan ürünüdür. Puzolanik özelliklerinden dolayı, KYB'da Portland çimentosu yerine belirli oranda çimento ikame malzemesi olarak kullanılabilir. UK, hem taze, hem de sertleşmiş beton özelliklerini önemli ölçüde iyileştirir. %30 oranında çimento ile yer değiştirilerek kullanıldığında KYB'nun mekanik dayanımını, kimyasal etkilere direncini ve durabilitesini arttırır, ancak, istenilen dayanıma, sadece PÇ ile yapılan betonlardan daha yavaş ulaşılır (Deeb, 2013). Sahip olduğu küçük küresel formundan dolayı, KYB'nun, işlenebilirliğini arttırarak, karışımın su ihtiyacını azaltır. UK, KYB'nun reaktivitesini arttırır ve bu da basınç dayanımının ve durabilitenin artmasına, kuruma ve otojen büzülmenin azalmasına neden olur (Deeb, 2013; Koehler ve Fowler, 2007).

Koehler ve Fowler (2007), UK ve YFC'nu %20, %30 ve %40 oranlarında KYB'da katkı olarak kullanarak KYB'nun taze, mekanik, durabilite özellikleri ile gözenekliliğini araştırmıştır. UK ve YFC'nun başlangıçtaki yayılmayı arttırdığını, slump kaybını azalttığını ve çimento hamurunun priz süresini uzattığını belirtmiştir. Ayrıca, kontrol betonu ile kıyaslandığında; 7 günlük basınç ve yarmada çekme dayanımlarının düşürdüğünü, 90 günlük mekanik dayanım ve porozitenin, kontrol betonu değerleri ile benzerlik gösterdiğini ifade etmiştir.

Gesoğlu, Güneyisi ve Özbay (2009), UK içeren betonların genellikle daha düşük basınç dayanımına sahip olduğunu gözlemiştir. Bununla birlikte, ikili (PÇ + SD) ve (PÇ + YFC) ve üçlü (PÇ + YFC + SD) karışımların daha yüksek basınç dayanımları sağladığını, SD ve YFC'nun, KYB'nun serbest büzülmesini azalttığını ifade etmişlerdir.

- ***Yüksek fırın cürufu (YFC)***

YFC, metalürji tesislerinde ham demir üretimi sırasında yüksek fırınlarda oluşan bir yan üründür. Beton özelliklerine kazandırdığı önemli teknik faydalardan dolayı inşaat sektöründe yaygın olarak kullanılmaktadır (Uysal ve Sumer, 2011; Boukendakdji, Kadri ve Kenai, 2012). YFC'nun kimyasal kompozisyonu, çimentoya yakın özellikler gösterir ve en önemlisi de nispeten sabittir. YFC, daha düşük hidratasyon ısısı, daha yüksek sülfat ve asit direnci, daha iyi işlenebilirlik, daha düşük geçirgenlik ve daha yüksek korozyon direnci gibi avantajlara sahiptir (Boukendakdji vd. 2009).

KYB'da, YFC'nun etkinliğini değerlendirmek için kimyasal kompozisyon, puzolanik aktivite ve incelik gibi bazı parametreler araştırmacılar tarafından incelenmiş, reaktif SiO_2 içeriği ve inceliğin, çimentolu kompozitin puzzolanik aktivite indeksini veya reaktivitesini önemli ölçüde etkileyeceği görülmüştür (Dinakar, Sethy ve Sahoo, 2013).

YFC, PÇ'dan %10 daha düşük yoğunluğa sahip olduğundan, aynı hacimde çimentoyla değiştirildiğinde, daha büyük bir pasta hacmine sahip olur, bu da segregasyon direncini ve akış kabiliyetini önemli ölçüde artıran bir etki oluşturur. Deeb (2013) çimento ile karşılaştırıldığında, daha pürüzsüz bir partikül yüzey dokusuna sahip olmasından

dolayı, kimyasal reaksiyonda oluşan gecikme nedeniyle, YFC ile yapılan betonların su ihtiyacının daha az olma eğiliminde olduğunu belirtmiştir.

Öner ve Akyüz, (2007), yaptıkları çalışmada, YFC içeriği arttıkça, aynı işlenebilirlik için gerekli su/bağlayıcı oranının azaldığını, YFC'nun işlenebilirlik üzerinde olumlu bir etki oluşturduğunu belirtmişlerdir. Erken yaşlarda dayanım değerlerinin düştüğünü ancak artan kür süresi ile birlikte dayanım artışının gerçekleştiğini, bunun yavaş gelişen puzolanik reaksiyon ve hidratasyon gelişiminden kaynaklandığını ifade etmişlerdir.

Robert vd. (2011), metakaolin ve YFC içeren mineral katkılar kullanılarak üretilen KYB'nun reolojik, mekanik ve durabilite özelliklerini incelemiştir. Metakaolin katkılı KYB'nun erken yaşlarda YFC katkılı KYB'dan daha yüksek basınç dayanımı gösterdiğini, bunun metakaolin yüksek reaktivitesinden kaynaklandığını, 28 günden sonraki süreçte her ikisinin basınç dayanımlarının arttığını, YFC'nun donma çözülme direncinin ise daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir.

Boukendakdji, Kadri ve Kenai (2012), YFC ve iki farklı SA'nın KYB özellikleri üzerindeki etkisini incelemiştir. Çalışmada, YFC, %10, %15, %20 ve %25 oranlarında çimento yerine ikame edilmiş, iki farklı SA katkı kullanılmıştır. Araştırmada; %15-20 cüruf içeriğinin işlenebilirliğin iyileştirilmesinde etkili olduğu, 56 ve 90 günlük basınç dayanımlarında geleneksel betonla aynı dayanım değerlerinin elde edildiği ifade edilmiştir.

- ***Orman Endüstrisi Atık Külü (OAK)***

OAK, odun ve odun ürünlerinin (cips, talaş, kabuk vb.) yanması sonucu oluşan inorganik ve organik içeren atıktır. Sert ağaçlar genellikle yumuşak ağaçlardan daha fazla kül üretir, kabuk ve yapraklar ise genellikle ağacın iç odunsu kısımlarından daha fazla kül üretir. Ortalama olarak, ahşabın yakılması yaklaşık %6-10 oranında kül oluşturur. Odun külünün bileşimi coğrafi konum ve endüstriyel süreçlere bağlı olarak oldukça değişkenlik gösterebilir (Siddique, 2012).

Naik ve Kraus (2002), yaptıkları çalışmada, OAK ile yapılan beton karışımlarının 365 günlük basınç dayanımını araştırmıştır. OAK %5, %8 ve %15 oranlarında çimento yerine ikame edilmiş, aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir; (i) kontrol betonun 28 ve 365 günlük basınç dayanımları sırasıyla 34 ve 44 MPa, (ii) OAK katkılı betonların 28 günlük dayanımları 28-33 MPa, 365 günlük dayanımları 42-46 MPa arasında gerçekleşmiş, (iii) OAK basınç dayanımı gelişimine katkıda bulunmuş, çimento kullanımını %15 oranında azaltmıştır. OAK'nün 300 donma-çözülme döngüsü sonrası belirlenen dinamik elastisite modülü ve ultrasonik test değerleri üzerinde de olumsuz bir etkisi gözlenmemiştir.

Abdullahi (2006), OAK'nün betonun işlenebilirlik, 28 ve 60 günlük mekanik özellikleri üzerindeki etkisini incelemiştir. Araştırmada, %0, %10, %20, %30 ve %40 gibi değişen oranlarda OAK çimento yerine ikame edilmiş, artan kül içeriğinin karışım suyu ihtiyacını arttırdığı görülmüştür. 28 ve 60 günlük basınç dayanımları incelendiğinde; %0 OAK içeren numunelerin en yüksek basınç dayanımına sahip olduğu, %20 kül içeren karışımın %10 kül içerenden daha yüksek dayanıma sahip olduğu görülmüştür. OAK içeriğinde %20'den fazla artışın, 28 ve 60 günlük dayanımları düşürdüğü, optimum OAK oranı ise %20 olarak belirlenmiştir.

- ***Perlit***

Perlit, yüksek SiO_2 ve Al_2O_3 içeriği nedeniyle puzolanik bir malzeme olarak kabul edilen camsı volkanik kayaçtır (El Mir ve Nehme, 2017). Perlit dünyanın farklı ülkelerinde bulunan bir mineral olup, Türkiye, Yunanistan, ABD, Japonya Macaristan ve İtalya dünya perlit üretiminin yaklaşık %97'sini karşılamaktadır. Perlit çimentolu kompozitlerde çimento ikame ve ince/iri agrega ikame malzemesi olarak kullanılabilmektedir (Rashad, 2016).

400 °C ön ısıtmayla ham perlitin %80-90 oranında yüzey suları uzaklaştırılır, daha sonra 700-1200 °C değişen sıcaklıkta öz suyunun aniden buharlaştırılmasıyla mısır taneleri gibi patlayarak hacmi 30 kata kadar artabilen hafif, gözenekli ve camsı bir yapıya sahip, GP oluşur. GP; fiziksel esnekliği, düşük yoğunluğu ve ses geçirgenliği,

kimyasal sabitliği ve ateşe karşı dayanıklı olmasından dolayı yaygın kullanım alanı bulmaktadır (DPT, 2001).

El Mir ve Nehme (2017), atık perlit tozunu yüksek oranda filler malzeme olarak KYB üretiminde kullanarak, KYB'nun reolojik ve sertleşmiş betonun mekanik, durabilite özelliklerini araştırmıştır. Pertlit tozunun KYB'nun mikroyapısı üzerinde önemli bir puzolanik etki oluşturduğunu, betonun basınç dayanımı üzerinde pozitif bir etki yarattığını, ayrıca durabilite özelliklerini de iyileştirdiğini belirlemişlerdir.

Türkmen ve Kantarci (2007), GP'i (0-4 mm) hacimce %5, %10 ve %15 oranlarında doğal kum ikamesi olarak KYB üretiminde kullanmışlar, KYB'nun slump değerlerinin sırasıyla %4.92, %3.28 ve %3.28, 28 günlük basınç dayanımlarının da sırasıyla %1, %3 ve %7 oranlarında azaldığını ifade etmişlerdir.

2.3.3. Agrega

Araştırmacılar, betonun basınç dayanımının çimento-agrega oranına, agrega boyutuna ve su/çimento oranına bağlı olduğunu belirtmişlerdir. KYB'nun agrega bileşimi ve boyutu geleneksel betondan farklı olduğundan, KYB'nun basınç dayanımının da bu değişkenlerden etkilenir (Nikbin vd., 2014). Agreganın maksimum tane boyutu ve gradasyonu uygulamaya bağlıdır, dmax genellikle 20 mm ile sınırlıdır. KYB'da iri agrega miktarı, ince agrega miktarına eşit veya daha az tutulur (Hameed ve Ahmad, 2005).

Su, Hsu ve Chai (2001), iri agrega/toplam agrega oranındaki azalmanın KYB'nun elastisite modülünü değiştirmediğini ifade etmiştir. Yüksek dayanım ve dayanıklılık elde etmek için KYB üretiminde kullanılacak ince agregaların; keskin köşeli, kimyasal olarak inert, yoğun, su emmesi düşük ve zararlı maddelerden arındırılmış özelliklerde, ayrıca bağlayıcı hamur hacmini azaltmak için de iyi bir gradasyona sahip olması gerekir (İhsan, 2017).

Nikbin vd. (2014), KYB'nun mekanik davranışı üzerinde üç değişkenin (maksimum iri agrega boyutu, iri agrega içeriği ve beton yaşı) etkilerini araştırmıştır. Araştırma; iri agrega boyutunun 9,5 mm'den 19 mm'ye yükselmesiyle, 0.38 ve 0.53 w/c oranları için

basınç dayanımının sırasıyla %5 ve %25 arttığını göstermiştir. Ayrıca iri agrega hacminin %30'dan %60'a artmasıyla, basınç dayanımı sabit bir trend takip etmemiş, %40'lık agrega hacminde başlangıçta azalmış, daha sonra artış göstermiştir.

Khaleel ve Razak (2011), kırma çakıl, doğal çakıl ve kırma kireçtaşı olmak üzere üç farklı iri agreganın KYB'nun taze ve sertleşmiş özellikleri üzerindeki etkisini araştırmıştır. En büyük agrega boyutunun artmasıyla, betonun, akışkanlık ve geçiş kabiliyetinin azaldığını, buna ilaveten, karışımda doğal çakıl kullanıldığında, kırma çakıl kullanılan betona kıyasla, akışkanlık, geçiş kabiliyeti ve segregasyon direncinin arttığı gözlenmiştir. Kırma kireçtaşı ile üretilen KYB numunelerinde, kırma ve doğal çakıl ile hazırlanan beton karışımlarına göre daha yüksek dayanım ve elastisite modülü değerleri elde edilmiştir. Buna ek olarak, iri agrega boyutunun küçülmesiyle KYB mekanik dayanımının arttığı gözlenmiştir.

2.3.4. Süperakışkanlaştırıcı (SA)

Sertleşmiş KYB özellikleri, öncelikle bileşenlerinin karışım içerisinde dağılımına bağlı olarak, taze betonun davranışından önemli ölçüde etkilenir. Geleneksel betonda çimento partikülleri bir araya gelerek topaklanır ve karışım içinde içsel sürtünme oluşturur, partiküller birbirlerini kolaylıkla itemedikleri için akış kabiliyeti azalır. SA veya yüksek oranda su azaltıcı katkılar, akış kabiliyetini artırır ve çimento partiküllerini homojen olarak karışım içerisinde dağıtır, hidrasyon gelişiminin iyileştirilmesiyle daha boşluksuz ve daha düşük porozite de ve böylece yüksek dayanımlı ve iyi durabilite özelliğine sahip bir beton oluşumuna katkıda bulunur (Deeb, 2013).

SA katkılar, gerekli işlenebilirliğin sağlanmasında KYB için önemli bileşenlerdir. SA katkılar; (i) düşük su/toz oranı için yüksek dispersiyon etkisine, (ii) karıştırma işleminden sonra en az iki saat boyunca dispersiyon etkisinin sürekliliğine ve (iii) sıcaklık değişimlerine daha az duyarlı olma özelliklerine sahip olmalıdır (Hameed ve Ahmad, 2005).

Benaicha vd. (2019), KYB'larda reoloji ve basınç dayanımı arasındaki ilişkiyi incelemiş, bu amaçla sekiz farklı doz SA kullanarak KYB karışımları hazırlamıştır.

SA dozajının artmasıyla basınç dayanımının azaldığı, slump yayılma değerlerinin arttığı, ancak V-hunisi akış süresi, akma gerilimi ve plastik viskozite değerlerini azalttığı belirlenmiştir.

2.4. Kür Koşullarının KYB Üzerine Etkisi

Yetersiz ve dikkatsiz kür işlemi hidratasyon gelişimini önemli ölçüde etkiler ve mikro yapıda kusurlar, düşük dayanım ve durabilite problemlerine neden olur. Yetersiz kürlemenin neden olduğu en olumsuz etki, zararlı iyonların ve ajanların beton gövdeye kolayca girmesine yol açan ve bunun sonucu durabilite problemine neden olan plastik büzülme çatlaklarıdır. Kür, iyi bir beton kalitesi elde etmek için basit bir önlemdir (Li, 2011). KYB, terleme, kusma ve yüksek pasta hacmi nedeniyle, geleneksel betona göre plastik büzülme çatlaklarına karşı daha duyarlıdır (Koehler ve Fowler, 2007).

Turcry, Loukili ve Haidar (2002) ; Turcry ve Loukili (2003), KYB esas olarak düşük su /toz oranı ve gecikmiş prize bağlı olarak, geleneksel beton karışımlarından iki kat daha fazla plastik büzülme gerilmelerine maruz kalır. Plastik büzülme çatlaklarına daha fazla duyarlılık nedeniyle, hava koşullarından bağımsız olarak dökümden hemen sonra kürlemenin başlatılması önerilir (Koehler ve Fowler, 2007).

Zhaovd. (2012), ilk su kürü- kür süresi ve kür koşullarının KYB özelliklerine etkisi incelemişlerdir. Numunelere 3, 7, 14 gün süreli su kürü, sürekli su kürü, sürekli standart kür ve sürekli oda kürü olmak altı farklı kür işlemi uygulanmıştır. Test sonuçları, puzolanik aktivitenin arttırılması için ilk 7 günlük süre boyunca su kürü uygulamasının gerekli olduğunu, KYB numunelerin oda kürü koşullarında daha yüksek basınç ve eğilme dayanımı sergilediğini göstermiştir.

Salhi vd. (2017), sıcak iklimde KYB'ların özelliklerini ve davranışlarını incelemiştir. Değişken süre ve koruma koşullarında KYB numunelere beş farklı kür yöntemi uygulanmıştır. Yedi gün süreli su kürünün, sıcak iklimlerde, diğer dört kürleme yöntemine kıyasla daha etkili olduğunu, sıcak iklimin taze ve sertleşmiş beton özelliklerini olumsuz etkilediğini ve genellikle basınç dayanımını azalttığı göstermiştir.

Mohamed (2019) düşük su/bağlayıcı oranı ve %90 oranında YFC, UK ve SD çimento yerine ikame edilmiş endüstriyel atıkların KYB'ların dayanım gelişimine etkisini incelemiştir. KYB numuneler; (i) 28 gün süreyle, oda sıcaklığında kür tankında su içinde, (ii) 3 gün süreyle kür tankında su içinde, daha sonra 25 gün süreyle laboratuvar dışında direkt güneşe maruz kalacak şekilde bekletilmiştir. Kür döneminde, sıcaklık 31 ℃ - 44 ℃ arasında değişim göstermiştir. Üçüncü kür yönteminde, beton numuneler akrilik esaslı membran altında test gününe kadar laboratuvarda oda sıcaklığında bekletilmiştir. Üç gün su küründen sonra açık havada yüksek sıcaklıkta kür uygulanan numunelerin 28 günlük basınç dayanımları, diğer kür yöntemlerine kıyasla daha yüksek basınç dayanımı (76 MPa) sergilemiştir. Açık havada yüksek dayanım sergileyen numuneler %72.5 - %70 YFC ile birlikte %12.5 - %15 SD içeren beton karışımlarından oluşmuştur.

2.5. İçsel Kürleme Etkisi

Son zamanlarda, suya doygun gözenekli agregalarla betona kür için su sağlamak amacıyla betonun içinde içten bir rezervuar oluşturulan ve içsel kürleme olarak tanımlanan bir yöntem geliştirilmiştir (Li, 2011). İçsel kürlemenin, çimentolu kompozitlerin kendi kendine kurumasını ve otojen büzülmesini azaltmada etkili olduğu bilinmekte, hafif agregalar, içsel kürleme maddeleri olarak yaygın kullanılmakta ve yüksek dayanımlı betonlarda dahil olmak üzere farklı tasarımlarda başarıyla uygulanmıştır (Song, Choi ve Choi, 2016).

İçsel kürleme otojen rötreyi azaltır, özellikle düşük su/çimentolu ve yüksek performanslı betonlarda beton kalitesini iyileştirilmesine önemli bir katkı sağlar (M. Lopez, L.F ve Kahn, K.E. Kurtis,2008; D.P. Bentz 2007). Çok sayıda ülke yüksek ortam sıcaklığı ve düşük bağıl rutubet etkisindedir, bu yüzden içsel kürleme erken yaşlarda kendi kendine kurumanın engellenmesi ve otojen rötrenin azaltılması bakımından, betonun kürü için mükemmel ve etkili bir yöntemdir (P.Ka.M ve Mehta, J.M. Paulo,2006 ; E.E. Holt,2001).

Famili, Khodadad Saryazdi ve Parhizkar (2012), iri agrega hacminin %25'ini aynı boyuttaki doymuş hafif agrega ile değiştirerek içsel kürlemenin etkisini araştırmış, hafif agrega ikamesi ve 0,28 su/bağlayıcı karışımın 28 günlük basınç dayanımı

sırasıyla nemli ve örtü altında kürlenmiş numunelerde 108 - 89 ve 98 - 87 MPa arasında değişken değerler almıştır.

Aljalawi ve Al-Awadi (2018), içsel kürleme tekniğinin KYB'nun özellikleri üzerindeki etkisini araştırmıştır. Çalışmada, %5 kalker tozu, çimento yerine ikame edilmiş, %5, %10, %15 oranlarında hafif ince agrega hacimsel olarak ince agrega yerine kullanılmış, KYB numuneler su ve hava ortamında bekletilmiştir. İçsel kürlemenin KYB betonlarında iyi bir işlenebilirlik ve yüksek basınç dayanımı sağladığı gözlenmiş, %5 hafif agraga katkılı sertleşmiş KYB numunelerde en iyi sonuçlar elde edilmiştir.

Ahmadi, Saeedi Razavi ve Amini (2018), iç kürlemenin KYB'nun mekanik özellikleri, büzülme, geçirgenlik ve korozyon üzerindeki etkilerini araştırmıştır. İçsel kürlemenin, hafif agrega içeren KYB numunelerin büzülmesini azalttığını, hatta ortadan kaldırdığını, böylece betonda çatlak yayılımını kontrol ederek betonun dayanıklılığını arttıracağını, ayrıca betonun mekanik özelliklerini ve korozyona karşı direncini iyileştirdiğini ifade etmiştir.

3. MATERYAL VE METOD

3.1. Materyal

Yapılan deneysel tez çalışmasında; CEM I 42,5 çimento (PÇ), doğal dere agregası (DK), kırma kum (KK), kırma taş (KT), ince agrega ikame malzemesi olarak genleştirilmiş perlit (GP), granüle yüksek fırın cürufu (GYFC), uçucu kül (UK), orman endüstrisi atığı külü (OAK), süper akışkanlaştırıcı (SA) ve su kullanılmış, malzemelerin özellikleri aşağıdaki bölümlerde ayrı ayrı tanımlanmıştır.

3.1.1. Çimento

Yapılan deneysel çalışmada Votorantim Çimento San. ve Tic. A.Ş. ürünü CEM I 42.5 R çimento (PÇ) kullanılmıştır. Çimentonun inceliği 3560 cm^2/g'dır. PÇ'nin üretici firmadan alınan kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri Tablo 3.1'de verilmiş, çalışmada kullanılan çimento Şekil 3.1'de gösterilmiştir.

Tablo 3.1. *Çimentonun kimyasal, fiziksel özellikleri ve mekanik özellikleri*

			TS EN 197-1 Limit Değerleri	
Kimyasal Özellikler		Test değerleri	Min.	Mak.
Çözünmeyen Kalıntı	(%)	0,79	-	5
MgO	(%)	1,73	-	-
SO_3	(%)	3,16	-	4
Kızdırma Kaybı	(%)	3,33	-	5
Cl^-	(%)	0,0485	-	0.1
Fiziksel Özellikler				
Özgül Ağırlık	(gr/cm^3)	3,08	-	-
Özgül Yüzey	(cm^2/gr)	3560	-	-
Normal Kıvam Su İhtiyacı	(%)	28	-	-
Priz Başlangıcı	(dakika)	135	60	-
Priz Sonu	(dakika)	220	-	-
Hacim Genleşmesi	(mm)	0	-	10
Mekanik Özellikler				
2 Günlük Basınç Dayanımı	(MPa)	31	20	-
7 Günlük Basınç Dayanımı	(MPa)	42,1	-	-
28 Günlük Basınç Dayanımı	(MPa)	53,1	42.5	62.5



Şekil 3.1.KYB'de kullanılan PÇ

3.1.2. Uçucu Kül

Araştırmada Zonguldak – Çatalağzı (ÇATES) Termik Santrali uçucu kül tesisinde seperatörden alınan uçucu kül (ÇUK) kullanılmıştır. Kül etüvde 105±5 °C de 24 saat kurutulmuş, daha sonra bond değirmeninde 120 dk öğütülmüş, ikinci aşamada CHRYSO - Cem ADM 3 eklenerek 120 dk daha öğütme işlemine devam edilmiştir. ÇUK'ü F sınıfı (S+A+F= 84,32) kategorisinde olup, özgül ağırlığı 2,39 g/cm^3, inceliği 6500 cm^2/gdır, kimyasal özellikleri Tablo 3.2'de tanımlanmıştır. Bu çalışmada kullanılan uçucu kül Şekil 3.2'de gösterilmiştir.

Tablo 3.2.*ÇUK'nün kimyasal kompozisyonu*

Oksit	(%)	Standartlara uygunluk sınırları		
		TS EN 450	ASTM C 618	
			F	C
SiO_2	62.95			
Al_2O_3	15.48			
Fe2O3	7.89			
S+A+F	84.32		>70	>50
CaO	2.15			
MgO	2.16			
SO_3	0.21	<3,00		
K_2O	1.37			
Na_2O	2.05			
KK	2.02	<5,00	<5,00	<6,00



Şekil 3.2. KYB'de kullanılan ÇUK'ü

3.1.3. Granüle Yüksek Fırın Cürufu

Granüle yüksek fırın cürufu olarak (GYFC) Zonguldak - Ereğli Demir Çelik Fabrikası (Erdemir) atığı olan ve OYAK Bolu Çimento San. A.Ş. den temin edilen GYFC kullanılmıştır. GYFC'nun özgül ağırlığı 2.95 g/cm^3, inceliği 4989 cm^2/g dır. Üretici firmadan alınan GYFC'nun kimyasal, fiziksel özellikleri Tablo 3.3'te tanımlanmış, 7 ve 28 günlük puzolanik aktivite indeksleri sırasıyla 54,2 ve 72,5 olarak belirlenmiştir. Bu çalışmada kullanılan GYFC Şekil 3.3'te gösterilmiştir.



Şekil 3.3. KYB'de kullanılan GYFC

Tablo 3.3.*GYFC'nun kimyasal ve fiziksel özellikleri*

Oksit	%	EN 197-1 Standart limit değerler	Test metodu
MgO	5,75	Max. 18	TS EN 196-2
S(sulfide)	0,54	Max. 2,0	TS EN 196-2
SO_3	0,19	Max. 2,5	TS EN 196-2
CL^-	0,0185	Max. 0,1	TS EN 196-2
Moisture	0,06	Max. 1,0	TS EN 15167-1
Na_2O	0,56	-	TS EN 196-2
K_2O	0,28	-	TS EN 196-2
Na_2O Equivalent	0,74	-	TS EN 196-2
Fiziksel özellikler			
Özgül ağırlık g/cm^3	2,95	-	TS EN 196-6
Özgül yüzey cm^2/g	4989	Min. 2750	TS EN 196-6
Mineralojik özellikler	%		
Cam içeriği	100	-	TS EN 196-2
LOI	0,09	Max. 3,0	TS EN 196-2

3.1.4. Orman Endüstrisi Atığı Külü (OAK)

Orman Endüstrisi atığı külü Kastamonu SFC Entegre Orman Ürünleri San. Tic. A. Ş.'den temin edilmiş, 100 ± 5 ºC etüvde kurutulduktan sonra bond değirmeninde 90 dk öğütülmüş, ikinci aşamada CHRYSO - Cem ADM 3 ilavesi ile 90 dk daha öğütme işlemine devam edilmiştir. OAK'nün özgül ağırlığı 2,13 g/cm^3, inceliği 6010 cm^2/g, S+A+F = 72,74 olarak belirlenmiştir. OAK'nun kimyasal özellikleri Tablo 3.4'te tanımlanmış. Çalışmada kullanılan OAK Şekil 3.4'te ve öğütme işleminde kullanılan bilyalı değirmen Şekil 3.5'te gösterilmiştir.

Tablo 3.4.*OAK'nün kimyasal kompozisyonu*

Oksit	%
SiO_2	70,45
Al_2O_3	1,72
Fe_2O_3	0,57
S +A+ F	72,74
CaO	10,40
MgO	1,17
SO_3	0,11
K_2O	0,63
Na_2O	11,78
LOI	0,25



Şekil 3.4. KYB'de kullanılan OAK



Şekil 3.5. Bilyalı değirmen

3.1.5. İnce ve İri Agrega

Karışımlarda agrega olarak dere agregası (0-4), kalker kökenli kırma kum (0-5) ve kırma taş (5-15) kullanılmıştır. Ayrıca beton numunelerde içsel kürleme etkisi oluşturmak amacıyla 0-4 mm GP %5 oranında doğal ince agrega yerine kullanılmıştır. GP Çankırı - Akper Madencilik İnşaat Sanayi Taahhüt Ticaret Ltd. Şti.'nden temin edilmiştir. Yapılan deneysel çalışmada GP'in ağırlığının üç katı su emdiği (doygun kuru yüzey) belirlenmiş, taze karışımın işlenebilirliğini etkilememesi için GP suya doygun hale getirildikten sonra karışıma eklenmiştir.

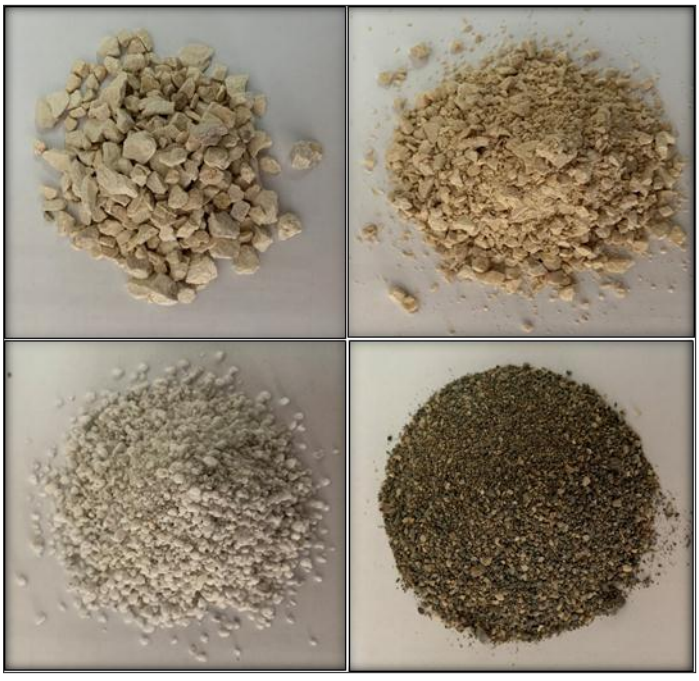
Karışımda kullanılan agregaların Şekil 3.6'da gösterilmiştir. Agrega elek analizi değerleri Tablo 3.5'te ve agrega özellikleri Tablo 3.6'da tanımlanmış.

Tablo 3.5. *Agrega elek analizi değerleri*

Elek no	Geçen		
	DK	KK	KT
1/2"	-	-	100
3/8"	-	100	91.7
4#	100	99.9	28.5
8#	65.7	57	0.3
16#	54.6	29.2	0.3
30#	42.2	15.2	0.3
50#	30	8.8	0.3
100#	15.6	2.9	0.3
200#	5.8	2.9	0.3

Tablo 3.6. *Agrega özellikleri*

Agrega	Özgül ağırlık g/cm^3	Su emme (%)
DK	2,66	1,2
KK	2,60	1,2
KT	2,65	1,18



Şekil 3.6. KYB'de kullanılan agregalar

3.1.6. Su

KYB numunelerde karışım ve kür suyu olarak TS-EN 1008 standardına uygun içme suyu kullanılmıştır.

3.1.7. Kimyasal katkı

Çalışmada CHRYSO firmasından temin edilen polikarboksilat esaslı yeni nesil süperakışkanlaştırıcı (SA) CHRYSO Lab Bet 8109 kullanılmıştır. SA suda çözünen polikarboksilat esaslı polimer olup, üçüncü nesil bir akışkanlaştırıcıdır. Lab Bet 8109'ın özellikleri Tablo 3.7'de verilmiştir.

Tablo 3.7. *SA'nın teknik özellikleri*

Renk	Kahverengi
Yoğunluk	1.075±0.02 g/cm3
pH	4±1
Cl	> %0,1
Etken madde	polikarboksilat
Görünüm	

3.2. KYB Karışımların Özellikleri ve Beton Numunelerin Dökümü

Tez çalışmasında YFC, UK ve OEA bileşenlerinden oluşan puzolanik özellik gösteren katkı maddeleri ile hazırlanan KYB betonların mekanik ve durabilite özelliklerinin belirlenmesi için 100 x 100 x 100 mm boyutunda küp numuneler üretilmiştir. Numune kodları, karışımda kullanılan bağlayıcı malzeme ve oranlarını tanımlayacak şekilde Tablo 3.4'de verilmiştir. CEM I çimento ana bağlayıcı olarak belirlenmiş, Tablo 3.8'de belirtildiği gibi ÇUK, GYFC ve OAK farklı oranlarda çimento yerine ikame edilmiştir. K, KP kodlu karışımlarda bağlayıcı olarak çimento, diğer karışımlarda ise %40

çimento, %60 oranında ÇUK + YFC + OAK külü kullanılmıştır. KYB'larda içsel kürleme etkisi oluşturmak amacıyla hacimsel olarak %5 oranında GP doğal ince agrega yerine kullanılmıştır.

Tablo 3.8.*KYB numunelerin karışım oranları*

Karışım no	Numune kodu	PÇ	GP	ÇUK	GYFC	OAK	SA
		%					
K	K	100	0	0	0	0	0.01
KP	KP	100	5	0	0	0	0.01
U25C25W10P0	M1-P0	40	0	25	25	10	0.008
U27C27W05P0	M2-P0	40	0	27.5	27.5	5	0.008
U30C30W0P0	M3-P0	40	0	30	30	0	0.008
U25C25W10P5	M1-P5	40	5	25	25	10	0.008
U27C27W05P5	M2-P5	40	5	27.5	27.5	5	0.008
U30C30W0P5	M3-P5	40	5	30	30	0	0.008

KYB karışımlarının hazırlanmasında 50 dm^3 hacminde betoniyer kullanılmıştır. Betoniyer içerisine önce tartılan doğal ince agraga, kırma kum, kırma taş ve soya doygun GP konulmuş, 3 dk'lık karıştırma işleminden sonra agregalara karışım suyunun 1/3'ü katılarak 3 dk tekrar karıştırılmış, akabinde betoniyere çimento ve diğer puzolanik katkı maddeleri konularak tüm malzemeler 3 dk karıştırmış, karışım suyunun 1/3'ü karışıma eklenerek tüm malzemeler 3 dk daha karıştırılmıştır. Son olarak SA katkı maddesi eklenmiş 1/3 karışım suyu karışıma eklenmiş, 5 dk'lık karıştırma sonucu taze KYB karışımı elde edilmiştir. Bu işlemlerin sonunda KYB'nin TS EN 12350-8'e göre yayılma deneyi yapılmıştır (Şekil 3.7). Yayılma deneyi sonrası taze KYB harcı iki tabaka olarak 100 x 100 x 100 mm boyutundaki küp kalıplara yerleştirilmiş, yüzeyleri mastarlandıktan sonra, üstleri plastic bir örtü tabakası ile örtülerek 20 ± 2 °C sıcaklık ve yaklaşık %65 rutubetli laboratuvar ortamında 24 saat süreyle bekletilmiş, ertesi gün kalıptan çıkartılan numuneler kür işlemine tabi tutulmuştur. Kalıplanan küp KYB numuneleri Şekil 3.8'de görülmektedir. KYB numunelerin bileşimini oluşturan malzeme miktarları Tablo 3.9'da verilmiştir.

Tablo 3.9.*KYB numunelerin karışım bileşenleri kg/m*^{3}

Karışım no	Numune kodu	PÇ (kg)	ÇUK (kg)	GYFC (kg)	OAK (kg)	DK (kg)	GP (kg)	KK (kg)	KT (kg)	Su (kg)	SA (kg)	s/b oranı (%)
K	K	605	0	0	0	677	0	322	613	203	6,1	0.28
KP	KP	605	0	0	0	576	20	311	591	103	6,1	0.28
U25C25W10P0	M1-P0	242	151	151	61	664	0	316	601	202	3,6	0.28
U27C27W05P0	M2-P0	242	166	166	30	664	0	316	601	202	3,5	0.28
U30C30W0P0	M3-P0	242	182	182	0	664	0	316	600	202	3,4	0.28
U25C25W10P5	M1-P5	242	151	151	61	565	20	305	580	103	3,6	0.28
U27C27W05P5	M2-P5	242	166	166	30	565	20	305	580	103	3,5	0.28
U30C30W0P5	M3-P5	242	182	182	0	565	20	305	580	103	3,4	0.28



Şekil 3.7. KYB numunelere uygulanan çökme-yayılma testi



Şekil 3.8. Kalıplanan KYB numuneler

3.3. Kür İşlemi

Kalıptan çıkartılan 100 x 100 x 100 boyutundaki küp numunelere test süresine kadar;

i. 20 ± 2 °C sıcaklıkta su kürü (S),
ii. 32 ± 2 °C sıcaklık % 70±5 rutubetli kür odasında (L)

olmak üzere iki farklı kür işlemi uygulanmıştır.

3.4. Sertleşmiş KYB Numunelere Uygulanan Testler

Her seriden 100 x 100 x 100 mm boyutunda üretilen ve iki farklı kür işlemi uygulanan sertleşmiş küp KYB numunelerin birim ağırlık, su emme, basınç dayanımı, ultrasonik ses geçiş hızı ve donma-çözülme özellikleri test edilmiştir. Ayrıca donma – çözülme testi öncesi ve sonrası numunelerin ultrases hız geçiş süreleri ölçülmüştür.

3.4.1. Birim Ağırlık ve Su Emme Deneyi

Beton numunelerin birim ağırlık ve su emme özelliklerinin belirlenmesinde 100 x 100 x 100 mm boyutundaki küp numuneler kullanılmıştır. Numuneler önce etüvde 105±5 ºC sıcaklıkta 24 saat süreyle kurutulmuş, oda sıcaklığına gelene kadar bekletilmiş, daha sonra etüv kurusu ağırlıkları 0,1 g hassasiyetinde elektronik terazi ile tartılmıştır. Numuneler daha sonra 21±1 °C'de 24 saat süreyle bekletilmiş, numunelerin yüzeyleri nemli bir bezle kurulanarak 0,1 g hassasiyetinde elektronik terazi ile tartılarak suya doygun ağırlıkları belirlenmiştir. Daha sonra her bir seri için 3 numunenin ortalaması alınarak beton numunelerin birim ağırlıkları ve su emme değerleri hesaplanmıştır.

3.4.2. Basınç Dayanımı

İki farklı ortamda kür uygulanan 100 x 100 x 100 mm boyutunda ki küp numunelerin basınç dayanımlarının belirlenmesinde "TS EN 12390-3; Beton – Sertleşmiş Beton Deneyleri – Bölüm 3: Deney Numunelerinin Basınç Dayanımının Tayini" standardı esas alınmıştır. Yükleme hızı 2,4 kN/s olarak belirlenerek beton numunelerin 3, 7, 28

ve 90 günlük basınç dayanımları her bir seri için üç numune kullanılarak belirlenmiştir. Basınç dayanımı testi Şekil 3.9'da gösterildiği şekilde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.9. Basınç dayanımı deneyi

3.4.3. Ultrases Testi

KYB küp numunelerin ultrases testinde frekansı 55 kHz olan dijital test cihazı kullanılmış, test ASTM 597-09'ye uygun olarak yapılmıştır. Harç numunelerine Şekil 3.10'da gösterildiği gibi ultrasonik test uygulanmıştır. Numuneler etüvde sabit ağırlığa gelinceye kadar kurutulmuş, ortam sıcaklığına gelene kadar soğuması için beklenmiş, karşılıklı iki farklı test yüzeyi zımparalanmış, temizlendikten sonra test işlemine geçilmiştir. Test işlemi öncesi cihazın kalibrasyonu yapılmış, probların numune yüzeyine temasının tam olarak gerçekleşmesi için propların yüzeyine ultrason jeli sürülmüş, problar numune yüzeyine karşılıklı olarak hafifçe bastırılarak yerleştirilmiş, dijital ekranda ki geçiş süresi sabit bir değer aldığında μs olarak kaydedilmiştir. Eşitlik 3.1 yardımıyla numunelerin ses geçiş hızı hesaplanmıştır. Test işlemi her seri numune için üç tekrarlı olarak yapılmıştır.

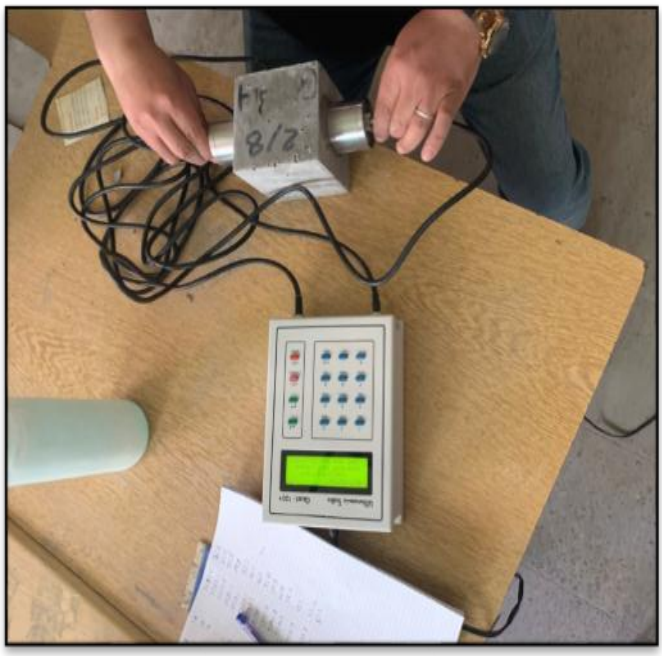
$$V = (S / t)\ 10^6 \qquad (3.1)$$

Eşitlikte;

V = P dalga hızı (km/s),

S = Numunenin iki yüzeyi arasındaki mesafe (m),

t = P dalganın geçiş süresi (μs)



Şekil 3.10.Ultrasonik test

3.4.4. Donma-Çözülme Testi

28 gün süreyle iki farklı kür ortamında olgunlaştırılan 100 x 100 x 100 mm boyutunda ki KYB numunelere ASTM C 666-03 standardına uygun olarak donma-çözülme testi uygulanmıştır. Test öncesi numuneler etüvde kurutulmuş, ağırlıkları 0,1 g hassasiyette tartılarak ultrases testleri yapılmıştır. Betonun donma-çözülmeye karşı direncini test etmek için "ASTM C666-03 Hızlı Donma Çözülmeye Maruz Betonun Direncini Tespit Etmek İçin Standart Test Metodu" standardında A ve B olmak üzere iki farklı yöntem tanımlanmıştır. A yönteminde donma ve çözülme su içinde, B yönteminde ise donma havada, çözülme su içinde gerçekleştirilmektedir. Donma işleminde sıcaklık +4 °C'den -18 °C'ye düşürülmekte, çözülme de ise -18 °C'den +4 °C'ye çıkarılmakta ve her çevrim 2 saatten az ve 5 saatten fazla olmayan bir sürede tamamlanmaktadır. KYB numunelerine bu çerçevede 150 donma – çözülme çevrimi uygulanmış, 150 döngü sonrası numuneler etüvde sabit ağırlığa gelinceye kadar kurutulmuş, ağırlıkları yeniden tartılarak ağırlık kayıpları belirlenmiş ve daha sonra ultrases testine tabi

tutulmuştur. KYB numunelere uygulanan donma-çözülme test cihazı ve numuneler Şekil 3.11'de gösterilmiştir.

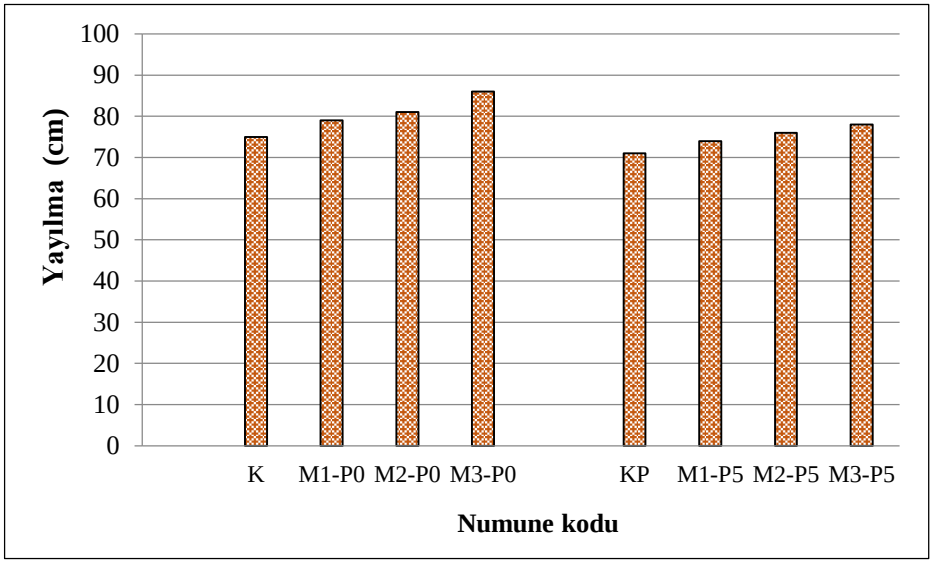


Şekil 3.11. Donma-çözülme test cihazı ve numuneler

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. İşlenebilirlik

KYB numunelerin taze haldeki kıvamları çökme-akış testinden elde edilen sonuçlar Şekil 4.1'de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. KYB yayılma test değerleri

Şekil 4.1'de gösterildiği gibi % 0 GP içeren kontrol karışımı (K), %5 GP içeren kontrol karışımdan (KP) daha yüksek bir yayılma göstermiştir.Türkmen ve Kantarci (2007), doğal kum ikamesi olarak GP (0-4 mm) kullanmışlar ve KYB karışımlarının işlenebilirliğin de bir azalma olduğunu ifade etmişlerdir. Bu durum karışım içerisinde yeralan GP'in artan özgül yüzeyi ve tane morfolojisi nedeniyle işlenebilirliği azaltmasından kaynaklanabilir. En yüksek yayılma %30 ÇUK, %30 GYFC, %0 OAK ve %0 GP içeren karışım (M3-P0) en yüksek yayılma çapını vermiştir. Yayılma çapının artmasında ÇUK ve YFC etki olmuş, özellikle ÇUK ve YFC oranındaki artış ve OAK oranındaki azalmaya bağlı olarak yayılma çapları tekrar artış göstermiştir.

En düşük yayılma %5 GP içeren KP kodlu numunede oluşmuştur.Bu seride en düşük yayılma M1-P5'te gözlenmiş, daha sonra M2-P5 ve M3-P5'de yayılma çapları tekrar artış kaydetmiştir. M1-P5 ve M2-P5'in yayılma çaplarının M3-P5'den daha az

olmasında OAK'nün etkili olduğu düşünülmektedir. %5 oranında GP katkısına rağmen yayılma çaplarında önemli bir azalma oluşmamıştır. Yayılma çapı artışında ÇUK ve GYFC'nun olumlu etkisinin olduğu sanılmaktadır.

Genel olarak, uçucu kül ve cüruf gibi karışıma bazı mineral katkı maddelerinin dahil edilmesinin, işlenebilirliği önemli ölçüde arttırdığı bilinmektedir (Bani, Joshaghani ve Hooton, 2017).

Islam vd. (2008), UK'ün küresel formu ve UK - YFC ikamesi sonucu artan pasta hacminin ince agragalar arasındaki sürtünmeyi azaltarak, işlenebirliği arttırdığını ifade etmiştir.

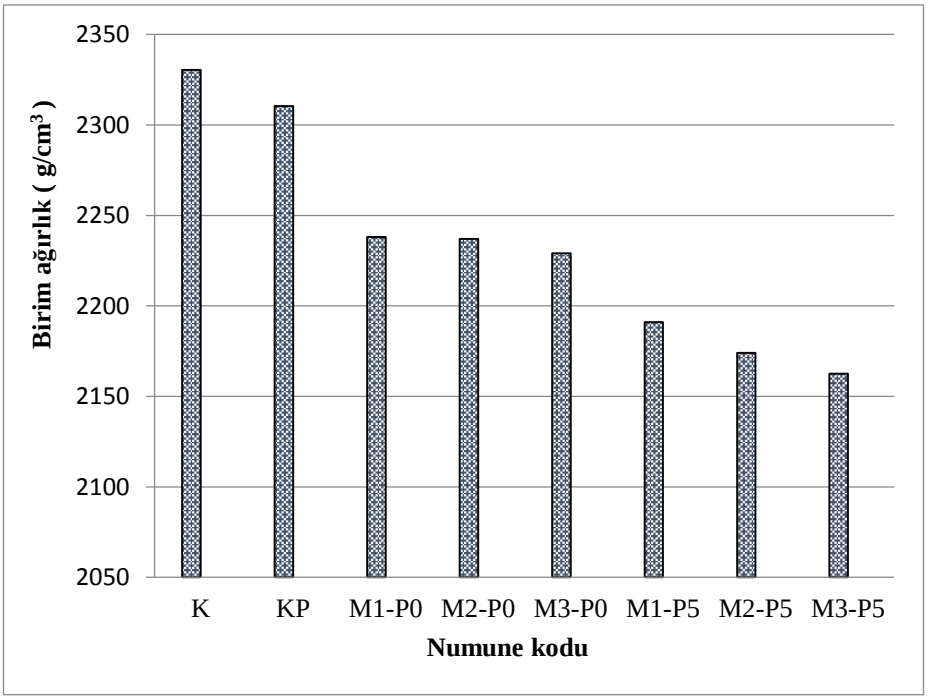
Ancak çimentonun odun külü ile kısmi yer değiştirilmesi işlenebilirliği olumsuz etkilemiştir, Siddique, (2012)'de ki çalışmasında buna vurgu yapmıştır.Cheah ve Ramli (2011), Çimento ikame malzemesi olarak odun külü içeren çimentolu kompozitlerin, eşdeğer çimentolu karışımlara kıyasla, aynı işlenebilirliğe ulaşmak için daha yüksek su ihtiyacı duyduğunu belirtmiştir.

4.2. Fiziksel Özellikler

4.2.1.KYB Numunelerin Birim Ağırlıkları

İki farklı kür ortamında olgunlaştırılan, GP, ÇUK, GYFC ve OAK katkılı 28 günlük KYB numunelerinin birim ağırlık ortalamaları grafiksel olarak Şekil 4.2 verilmiştir.

Numunelerin birim ağırlık değerleri karışımda kullanılan GP, ÇUK, GYFC ve OAK oranlarına bağlı olarak, değişkenlik göstermiştir. K serisi numunelerde %5 lik GP ilavesi birim ağırlık değerlerini düşürmüştür. M-P0 serisi numunelerde karışım içerisinde yer alan ÇUK, GYFC, OAK oranlarındaki değişime bağlı olarak birim ağırlık değerleri K serisi numunelere göre önemli ölçüde azalmıştır. Mineral katkı malzemelerinin özgül ağırlıkları birim ağırlık değerlerinin azalmasında etkili olmuştur.



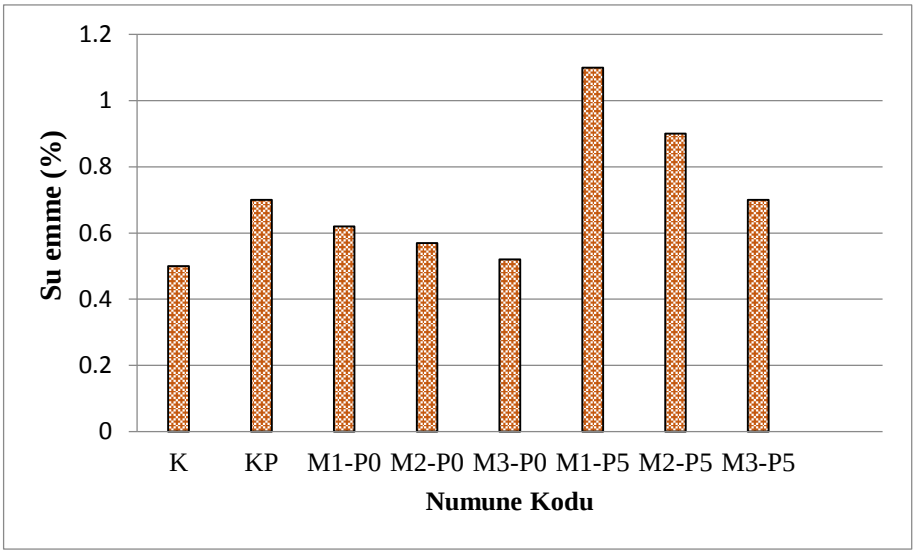
Şekil 4.2. KYB numunelerin 28 günlük birim ağırlık değerleri

M-P5 serisi numunelerin birim ağırlık değerleri, %5GP katkısı ve ÇUK, GYFC, OAK oranlarındaki değişime bağlı olarak, hem K serisi hem de M-P0 serisine göre önemli ölçüde azalmıştır.

4.2.2. KYB Numunelerin Su Emme Deneyi Sonuçları

İki farklı kür ortamında olgunlaştırılan 28 günlük KYB numunelerin su emme değerlerinin ortalamaları Şekil 4.3'te verilmiştir.

En düşük su emme oranı K kodlu numunede oluşmuş, %5 GP ilavesi KP'nin su emme oranını arttırmıştır. M-P0 serisi numunelerin su emme değerleri K'ya göre yüksek değerler almıştır. M1-P0 numunelerin su emme oranı diğerlerinden daha fazla olmuş, su emme değerleri daha sonra azalma eğilimi göstermiştir. Bu değer artışında OAK'nün etkili olduğu, OAK ikame oranındaki azalma sonucu, su emme oranın M2-P0'da azaldığı, M3-P0'da ise YFC ve ÇUK ikame oranındaki artışın su emme oranının düşmesinde etkili olduğu düşünülmektedir.



Şekil 4.3. KYB numunelerin 28 günlük su emme değerleri

M1-P5 serisi numunelerde hem %5'lik GP, hemde OAK'ünün etkisiyle su emme değerleri KP'ye göre önce küçük bir artış kaydetmiş, daha sonra tekrar düşme eğilimi göstermiştir.

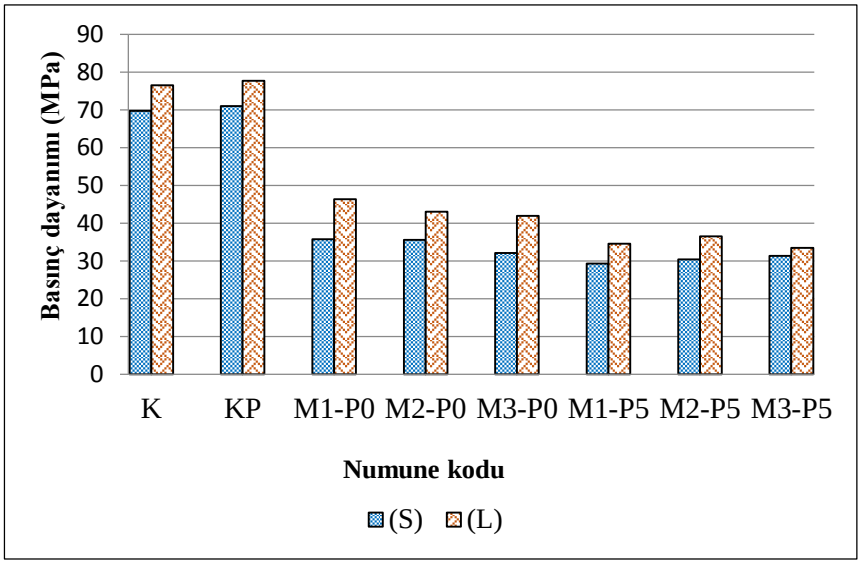
Khan vd. (2014), daha küçük partikül boyutları ve daha yüksek özgül yüzeyleri nedeniyle mineral katkıların daha yüksek yoğunlukta ve geçirimsiz beton üretimine imkan verdiğini ifade etmiştir.

4.3. Sertleştirilmiş Beton Test Sonuçları

4.3.1. Basınç Dayanımı Test Sonuçları

4.3.1.1. 3 Günlük basınç dayanımı sonuçları

Şekil 4.4'de S ve K kürü ortamında olgunlaştırılan KYB numunelerin 3 günlük basınç dayanımı değerlerinin değişimi verilmiştir. 3 günlük numuneler üzerinde L kürünün daha etkili olduğu görülmektedir. En yüksek basınç dayanımı %5 GP katkılı KP numunelerde gerçekleşmiştir.



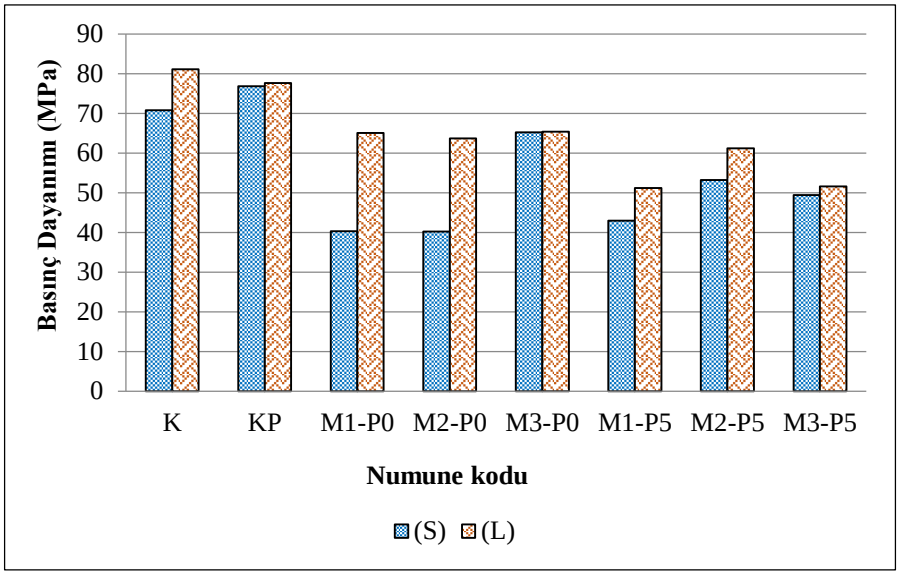
Şekil4.4. KYB numunelerin 3 günlük basınç dayanımı değerleri

M-P0 serisi numunelerde en yüksek basınç dayanımı 46 Mpa olarak L küründe bekletilen numunelerde elde edilmiştir. Bu değer artışında %10 OAK'nün etkili olduğu görülmektedir. Ancak aynı kür koşulları dikkate alındığında numune serileri arasında belirgin farklılıklar oluşmamıştır. K serisi dikkate alındığında, M-P0 serisinde basınç dayanımlarının düşmesinde puzolanik aktivitenin yetersizliğinin etkili olduğu düşünülmektedir.

M-P5 serisinde en yüksek basınç dayanımı 37 MPa olarak L küründe bekletilen M2-P5'de bulunmuştur. S küründe basınç dayanımı değerlerinin çok yakın olduğu görülmektedir. M-P0 serisi ile kıyaslandığında %5 lik GP ikamesinin bu serideki dayanımları düşürdüğü görülmektedir.

4.3.1.2. 7 Günlük basınç dayanımı sonuçları

GP, ÇUK, GYFC ve AOK katkıları ve farklı kür koşullarının KYB numunelerinin 7 günlük basınç dayanımı değerleri üzerindeki etkileri Şekil 4.5'te görülmektedir.



Şekil 4.5. KYB numunelerin 7 günlük basınç dayanımı değerleri

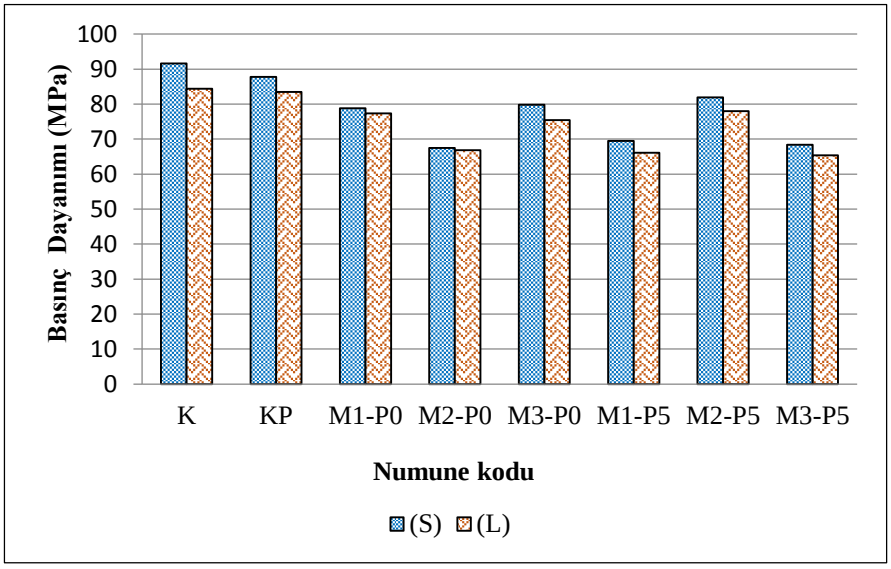
K kodlu numunelerde L kürünün etkili olduğu görülmektedir, sıcaklık ve rutubet dayanım artışında etkili olmuştur. KP kodlu numunelerde basınç dayanımlarında yaklaşık aynı değerler elde edilmiş, %5'lik GP katkısına rağmen, S küründe KP'nin basınç dayanımı K numunesinden daha yüksek bir değer almıştır. KP'nin, K betonundan L ve S kür koşullarında daha yüksek mekanik dayanım göstermesi, GP'in etkisiyle oluşan içsel kürlemenin erken yaş dayanımları üzerinde etkili olduğunu göstermektedir.

M1-P0 ve M2-P0 serisi numunelerde L kürünün etkili olduğu, S kürüne göre 20 MPa değerinde basınç dayanımı farklarının oluştuğu belirlenmiş, M3-P0 numunelerde ise her iki kür koşulunda da yaklaşık 65 MPa basınç dayanımı elde edilmiştir. Bu dayanım artışında ÇUK ve YFC'nun etkili olduğu düşünülmektedir.

M-P5 serisi numunelerde, en yüksek basınç dayanımı L küründe M2-P5'de 61,23 MPa olarak bulunmuştur. Bu seride S ve L kürleri arasında belirgin farklar gözlenmemiştir. %5'lik GP katkısı basınç dayanımlarında ciddi sayılabilecek basınç dayanımı kayıplarına neden olmamıştır. M3-P5 serisinde her iki kür koşulunda da basınç dayanımlarının birbirine yakın değerler aldığı, M3-P0'da olduğu gibi ÇUK ve YFC katkılarının etkisi burda da gözlenmiştir.

4.3.1.3. 28 Günlük basınç dayanımı sonuçları

L ve S kürü ortamında olgunlaştırılan KYB numunelerinin 28 günlük basınç dayanımı değerleri Şekil 4.6'da verilmiştir.



Şekil4.6. KYB numunelerin 28 günlük basınç dayanımı değerleri

Genel olarak değerlendirildiğinde S kürünün 28 günlük basınç dayanımı üzerinde sınırlı da olsa daha etkili olduğu görülmektedir. En yüksek basınç dayanımı K'da 91,63, KP'de 87,74 MPa olarak bulunmuştur. %5 GP katkısı basınç dayanımı üzerinde belirgin bir olumsuz etki oluşturmamıştır.

M-P0 serisi numunelerde en yüksek basınç dayanımı S kürü ortamında ki M3-P0 numunede 80 MPa yakın gerçekleşmiş, M1-P0 numunelerin her iki kür koşulunda da birbirine ve M3-P0'a yakın basınç dayanımları elde edilmiştir. Bu serideki numunelerin basınç dayanımlarında, %10 OAK ve ÇUK ve YFC'nun puzolanik aktivitelerinin etkili olduğu düşünülmektedir.

M-P5 serisi numunelerde en yüksek basınç dayanımı M2-P5 numunelerde elde edilmiş, S ortamında yaklaşık 82 MPa, L küründe 78 MPa değerini almıştır. M1-P5 ve M3-P5 numunelerde her iki kür koşulunda da mekanik dayanım değerleri, kür koşulları dikkate alındığında birbirini yakalamış, %5 oranında ki GP katkısı,

numunelerin basınç dayanımlarını olumsuz etkilememiş, M2-P5'in S ortam dayanımı KP' nin S ve L, K'nın da L ortam dayanımına oldukça yaklaşmıştır.

4.3.1.4. 90 Günlük basınç dayanımı sonuçları

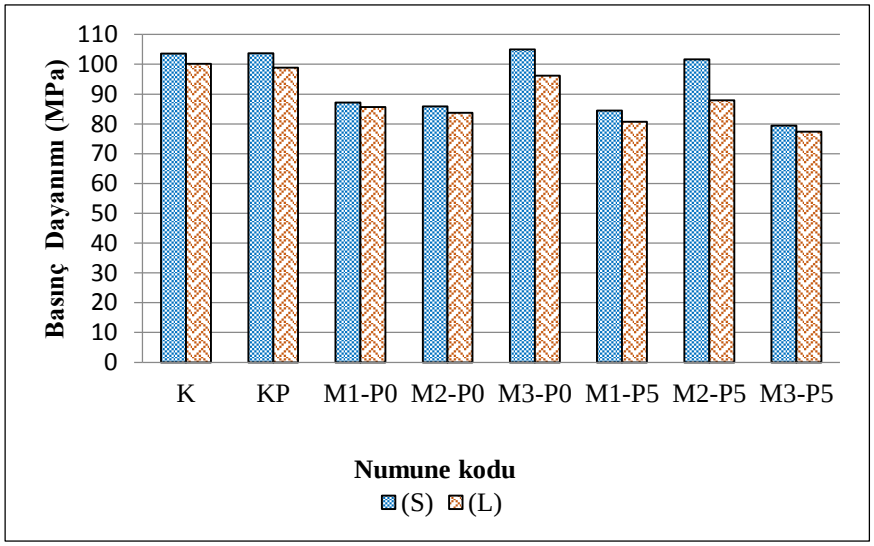
Standart normal su kürleme ve laboratuvar odası kürleme için betonun 90 günlük yaşlarındaki basınç dayanımının sonuçları Şekil 4.7'de gösterilmiştir.

Tüm numunelerin basınç dayanımları üzerinde S kürünün sınırlı da olsa daha etkili olduğu görülmektedir. K ve KP kodlu numunelerin basınç dayanımları eşit değerde ve yaklaşık 104 MPa olarak gerçekleşmiştir. L kür koşulunda da yaklaşık aynı basınş dayanımları elde edilmiştir. %5 oranında ki GP katkısı basınç dayanımını olumsuz etkilememiştir.

M-P0 serisi numunelerde M1-P0 ve M2-P0 numunelerin basınç dayanımlarının her iki kür koşulunda da yaklaşık aynı değerleri aldığı görülmüştür. Betonun ileriki yaşlarda gerçekleşen basınç dayanımları üzerinde, birbirine yakın oranlarda kullanılan UK ve YFC'nun, aynı zamanda OAK oranındaki değişimin beton dayanımı üzerinde bir etkisinin olmadığı belirlenmiştir. M3-P0 numunelerinin S ve L ortamındaki basınç dayanımı değerleri sırasıyla; 104,95 ve 96,21 Mpa olarak gerçekleşmiştir. Özellikle su kürü etkisiyle karışımların 90 günlük mekanik dayanımlarının artışında etkili olmuştur.

M-P5 serisi numunelerde en yüksek dayanım S ortamında kür uygulanan M2-P5'de 101,64 MPa olarak, K ve KP numunelerinin basınç dayanımlarına yakın değerde gerçekleşmiştir. L ortamında basınç dayanımı yaklaşık 88,0 MPa olarak elde edilmiştir. %5 oranındaki GP ikamesine rağmen bu serideki basınç dayanımları M-P0 serisindeki basınç dayanımlarını yakalamıştır.

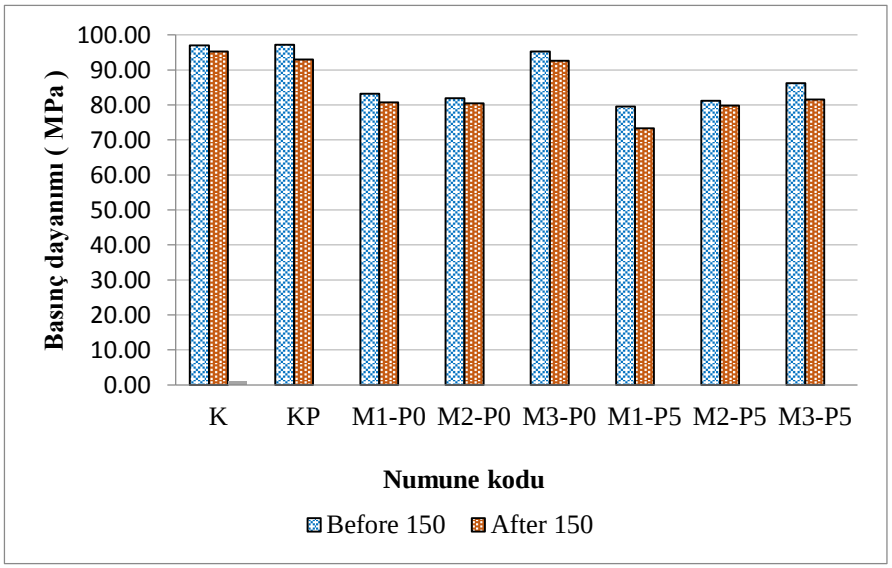
.



Şekil4.7. KYB numunelerin 90 günlük basınç dayanımı değeleri

4.4. Donma-Çözülme Test Sonuçları

28 Gün süreyle iki farklı kür ortamında olgunlaştırılan numunelere 150 döngü donma-çözülme testi uygulanmış, donma-çözülme testi sonrası numunelere basınç testi uygulanmıştır. Numunelerin 28 günlük basınç dayanımları ve donma-çözülme testi sonrası belirlenen basınç dayanımları Şekil 4.8 ve 4.9'da verilmiştir.

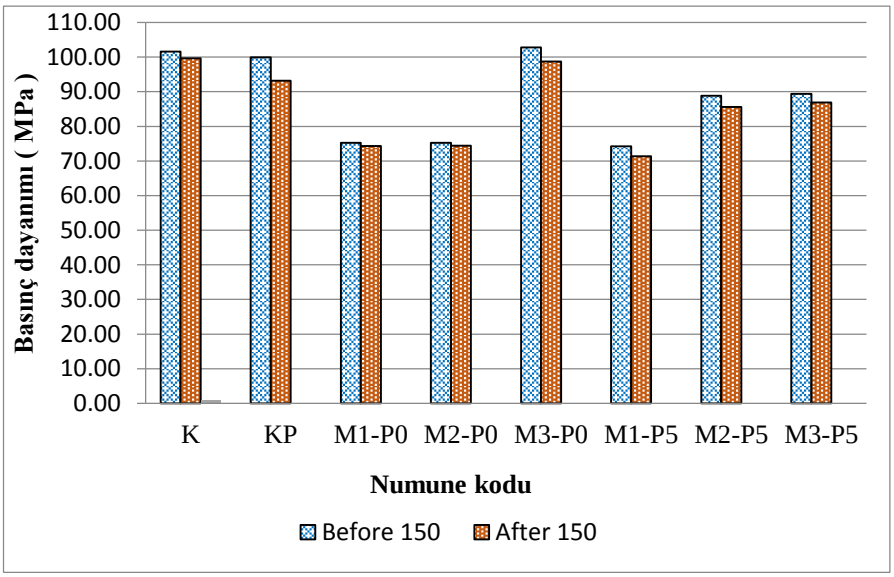


Şekil4.8. KYB **n**umunelerin donma-çözülme sonrası basınç dayanımı değerleri (L)

L küründe olgunlaştırılan tüm numunelerde 150 döngülük bir donma-çözülme testi önemli sayılabilecek basınç kayıpları oluşturmamıştır. Basınç dayanımı kaybı en düşük K, M2-P0 ve M2-P5 numunelerde gerçekleşmiştir.

S kürü uygulanan numunelerde de en düşük dayanım kaybı, K, M1-P0 ve M2-P0 numunelerinde oluşmuştur. Ancak diğer numunelerde oluşan dayanım kayıplarının da önemsiz olduğu görülmektedir.

Yüksek sayılabilecek 150 döngülük bir donma-çözülme testine tüm numunerin benzer sayılabilek bir direnç göstermesi, %60 oranında çimento ikame malzemesi ve %5 GP içeren KYB numunelerin donma-çözülme direnci açısından son derece önemlidir.

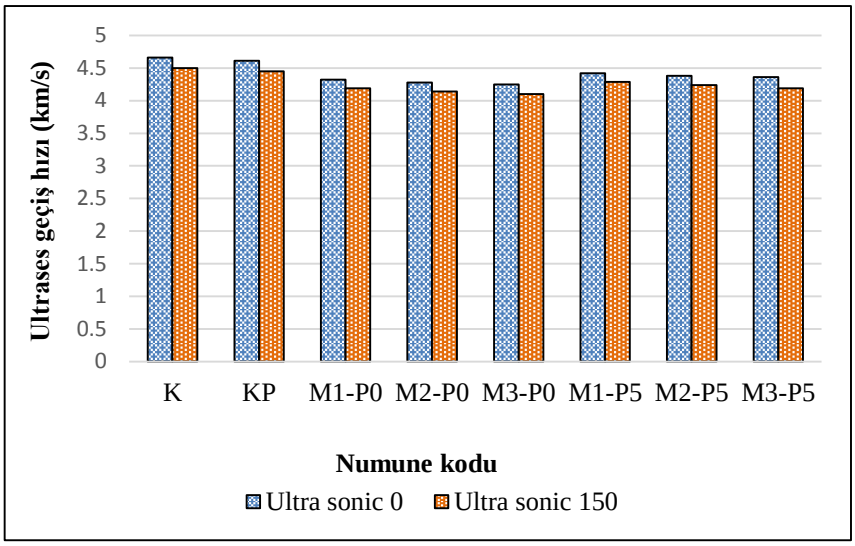


Şekil4.9. KYB numunelerin donma-çözülme sonrası basınç dayanımı değerleri

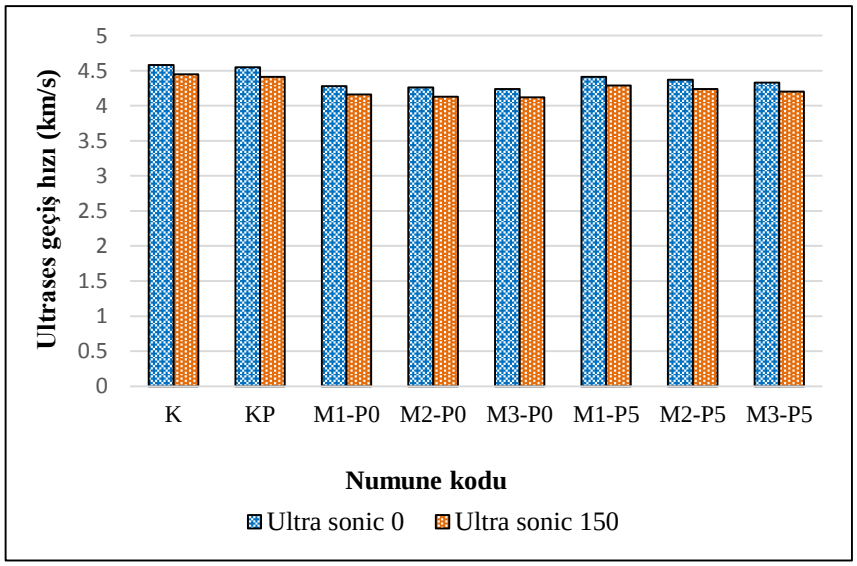
4.5. Ultrases Geçiş Hızı Test Sonuçları

28 Gün süreyle iki farklı kür ortamında olgunlaştırılan numunelere 150 döngü donma-çözülme testi uygulanmış, donma-çözülme testi sonrası numunelerin ultrases geçiş hızları belirlenmiştir. 28 günlük ultrases geçiş hızları ile donma-çözülme testi sonrası ölçülen ultrases geçiş hızları arasındaki değişim grafiksel olarak Şekil 4.10 ve 4.11'de verilmiştir.

150 Döngülük donma-çözülme testi L kürü uygulanan tüm numunelerde ultrases geçiş süreleri arasında önemli bir farklılık oluşturmamıştır. Bu değerler tüm numunelerin donma-çözülme direncinin oldukça yüksek olduğunu göstermiştir.



Şekil 4.10. Donma-çözülme sonrasıultrases geçiş hızı değerleri (L)



Şekil 4.11. Donma-çözülme sonrasıultrases geçiş hızı değerleri (S)

S kürü uygulanan tüm numunelerde de ultrases geçiş hız değerleri arasında önemli bir farlılığın oluşmadığı gözlenmiş, L kürü uygulanan numuneler dikkate alındığında, S kürü etkisinde kalan numunelerde ultrases geçiş hızı fark değerlerinin daha düşük gerçekleştiği belirlenmiştir. KYB numunelerinin 150 döngülük donma-çözülmeye direncinin yüksek olduğu belirlenmiştir.

5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Endüstriyel atıkların geri dönüştürülerek çimento ve beton sektöründe kullanımının yaygınlaştırılması özellikle gelişmiş ülkelerde giderek önem kazanmaktadır. Bu malzemelerin geri dönüşümü yalnızca CO_2 emisyonlarının azaltılarak daha çevre dostu ürünlerin gelişimine katkı sağlamanın dışında, enerji başta olmak üzere, hammadde kaynaklarının da korunarak sürdürülebilir gelişmeye katkı sağlar. Çalışmada çimento yerine ikame edilen yüksek hacimli mineral katkıların (ÇUK ve GYFC %25-30 değişken, OAK %5-10 oranlarında) ve %5 GP'in KYB numunelerin özellikleri üzerindeki etkileri araştırılmış, aşağıda açıklanan sonuçlar elde edilmiştir.

5.1. KYB Betonların Taze Özellikleri

%5 Oranında kullanılan GP artan özgül yüzeyi ve tane morfolojisi nedeniyle yayılma çapını azaltmıştır. %5-10 oranında OAK kullanımın da karışımın işlenebirliğini sınırlı da olsa azalttığı gözlenmiştir. Ancak özellikle ÇUK ve YFC'nun partikül özellikleri ve artan çimento hamuru M-P0 serisi karışımların yayılma çaplarını arttırmış, M-P5 serisi numunelerin işlenebilirliğini de olumlu yönde etkileyerek, KYB karışımlarının yayılma çaplarındaki düşüşün sınırlı düzeyde kalmasına katkı sağlamıştır.

5.2. Sertleşmiş KYB Betonların Özellikleri

%5 GP katkısı KYB numunelerin birim ağırlıklarını azaltmıştır. Ayrıca yüksek hacimde kullanılan ÇUK, GYFC ve OAK'de birim ağırlıkların düşmesinde etkili olmuştur.

GP, KYB numunelerin su emme oranlarını hem KP, hem de M-P5 serisi numunelerde arttırmıştır. OAK'de belirgin olarak M-P0 numunelerin su emme oranlarında artışa neden olmuştur. Ancak OAK orandaki azalma, mineral katkıların puzolanik aktivitelerindeki artış ve oluşturdukları filler etkisi KYB numunelerin su emme oranlarını düşürmüştür. Su emme oranlarındaki bu düşüş M-P5 serisi numunelerde daha yüksek oranda gerçekleşmiştir.

KYB numunelerin 3 günlük erken yaş dayanımlarında L kürünün daha etkili olduğu görülmüştür. L ortamındaki yaklaşık 30 ºC sıcaklığın, çimentonun hidratasyonu ve mineral katkıların puzolanik reaksiyonlarına olumlu katkısı ile GP'in oluşturduğu içsel kürlemenin mekanik dayanım artışında etkili olduğu düşünülmektedir.

7 Günlük mekanik dayanımlar üzerinde de L kürünün etkisi özellikle M1-P0 ve M2-P0 serisi numunelerde daha belirgin olarak görülmüştür. Benzer etki M1-P5 ve M2-P5 serisi numunelerde daha sınırlı ölçüde gerçekleşmiştir. Oluşan bu etkiler, ortam sıcaklığına bağlı olarak gelişen reaksiyonlar ve içsel kürleme etkisi ile açıklanabilir. KP'nin, K betonundan L ve S kür koşullarında daha yüksek mekanik dayanım göstermesi, GP'in etkisiyle oluşan içsel kürlemenin erken yaş dayanımları üzerinde etkili olduğunu göstermektedir. Öne çıkan bir diğer husus, M3-P0 da görüleceği gibi incelik değeri yüksek mineral katkıların, yüksek hacimli (%60) ikame malzemesi olarak kullanılmaları durumunda da, K betonuna eşdeğer basınç dayanımı değerlerini yakalamasıdır.

28 Günlük mekanik dayanımlar üzerinde su kürü sınırlı da olsa daha etkili olmuştur. Numune serilerinin önemli bir bölümünün birbirine yakın değerler aldığı görülmektedir. %5 GP katkısı numunelerin basınç dayanımı üzerinde önemli sayılabilecek olumsuz bir etki oluşturmamıştır. M1-P0, M3-P0 ve M2-P5 serisi numuneler S kür ortamında 80 MPa yakın basınç dayanımı göstermiştir. Yüksek incelikteki OAK'nün de 28 günlük basınç dayanımları üzerinde etkili olduğu görülmüştür.

KYB numunelerin basınç dayanımları arasındaki farklılıkların 90 günlük numunelerde daha da azaldığı görülmüştür. S kürünün oluşturduğu süreklilik ileriki yaş dayanımları üzerinde daha olumlu etkili oluşturmuştur. M3-P0 (S) K ve KP'den daha yüksek, M2-P5 (S) de eşdeğer basınç dayanımı göstermiştir. ÇUK ve GYFC'nun ve OAK'nün puzolanik etkileri burada görülmüştür.

150 Döngülük donma-çözülme çevrimi numunelerde önemli bir basınç dayanımı kaybı oluşturmamıştır. K ve KP numunelerinin donma-çözülmeye direnci aynı ölçüde gerçekleşmiştir. Yüksek hacimli ÇUK+GYFC katkılı (%60) KYB numunelerinde S küründe daha az dayanım kaybı oluşmuştur. Sonuçlar, yüksek incelikteki UK+YFC

katkılı betonların donma-çözülme etkilerine daha dirençli olduğunu göstermesi açısından önemlidir.

Donma-çözülme sonrası elde edilen ultrases geçiş hızları incelendiğinde, numune serilerinde önemli bir farklılık gözlenmemiştir.

5.3. Gelecekteki Çalışmalar için Öneriler

Yapılacak çalışmalarda GP'in içsel kürleme etkisinin ortaya konabilmesi için daha eksterm kür koşulları ve daha uzun süreli kür gereksinimi gerektiren YFC vb. mineral katkılarla, tek bileşenli çalışmalar yapılması yararlı olacaktır.

Yüksek hacimli mineral katkılı KYB'ların yaygınlaştırılması için, farklı ve alternatif endüstriyel atık mineral katkılar kullanılarak daha spesifik çalışmalar yapılmalıdır.

Ülkemizde önemli miktarlarda ortaya çıkan özellikle UK ve YFC'unun kullanımını özendirici/destekleyici faaliyetlerin yapılması, başta CO_2 emisyonları olmak üzere, klinker kullanımının azaltılarak hammaddenin korunumu, enerji tüketiminin ve bağımlılığının azaltılması, sürdürülebilirlik, toprak ve yeraltı su kaynaklarının korunması açısından önem taşımaktadır.

Gelecekteki araştırmalarda aktivatörler, prekursörler ve dolgu malzemeleri ile ilgili daha fazla bilgi vurgulanmalıdır. Bu konuda daha geniş denemeler gerçekleştirilmesi daha faydalıdır. Bir örnek olarak, uçucu kül ve bağlayıcı cürufunun aktivatöre oranı ve dolgu malzemesinin oranı sonuçlar üzerindeki etkisini değerlendirmek çimentodan artıyor olabilir. diğer yandan etkisi olmayan odun külünün uçucu kül ve cüruf ile kullanımını dikkate almayın.

KAYNAKLAR

ASTM (2018), (American Society for Testing and Materials): C666-03 Hızlı Donma Çözülmeye Maruz Betonun Direncini Tespit Etmek İçin Standart Test Metodu"

ASTM (2009), (American Society for Testing and Materials): 597-09 Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete.

Abdalhmid, J. M., Ashour, A. F. & Sheehan, T. (2019) 'Long-term drying shrinkage of self-compacting concrete: Experimental and analytical investigations', *Construction and Building Materials*. Elsevier Ltd, 202, pp. 825–837. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2018.12.152.

Abdullahi, M. (2006) 'Characteristics of Wood ASH / OPC Concrete', *Leonardo*, (8), pp. 9–16.

Abhishek, P., Lohith, P. & Sravan, N. (2019) *Experimental Study on Self-Compacting Concrete with Replacement Material ' s*. Springer Singapore. doi: 10.1007/978-981-13-3317-0.

Adesina, A. & Awoyera, P. (2019) 'Overview of trends in the application of waste materials in self ‐ compacting concrete production', *SN Applied Sciences*. Springer International Publishing, (July). doi: 10.1007/s42452-019-1012-4.

Aljalawi, N. and Al-Awadi, A. Y. (2018) 'Effect of internal curing on performance of self-compacting concrete by using sustainable materials', *MATEC Web of Conferences*, 162, pp. 1–10. doi: 10.1051/matecconf/201816202017.

Bani, R., Joshaghani, A. & Hooton, R. D. (2017) 'Workability retention and compressive strength of self-compacting concrete incorporating pumice powder and silica fume', *Construction and Building Materials*. Elsevier Ltd, 134, pp. 116–122. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2016.12.090.

Benaicha, M., Alaoui, A. H., Jalbaud, O., & Burtschell, Y. (2019). Dosage effect of superplasticizer on self-compacting concrete: correlation between rheology and strength. *Journal of Materials Research and Technology*, *8*(2), 2063-2069.

Boukendakdji, S.Kenai, E.H.Kadri&F.Rouis.(2009) 'Effect of slag on the rheology of fresh self-compacted concrete', *Construction and Building Materials*. Elsevier Ltd, 23(7), pp. 2593–2598. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2009.02.029.

Boukendakdji, O., Kadri, E. & Kenai, S. (2012) 'Cement & Concrete Composites Effects of granulated blast furnace slag and superplasticizer type on the fresh properties and compressive strength of self-compacting concrete', *Cement and Concrete Composites*. Elsevier Ltd, 34(4), pp. 583–590. doi: 10.1016/j.cemconcomp.2011.08.013.

Bul, V. K., Montgomery, D., Hinczak, I.&Turner, K. (2002), Rapid testing method for segregation resistance of self compacting concrete, Cement and Concrete Research, 32 (9), 1489-1496.

Cheah, C. B. & Ramli, M. (2011) 'The implementation of wood waste ash as a partial cement replacement material in the production of structural grade concrete and mortar: An overview', *Resources, Conservation and Recycling*. Elsevier B.V., 55(7), pp. 669–685. doi: 10.1016/j.resconrec.2011.02.002.

D.P.T.(2001), ''Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Yapı Malzemeleri III (Pomza, Perlit, Vermikülit, Flogopit, Genleşen Killer)'', Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Sekizinci Beş Yıllık (2001-2005) Kalkınma Planı, DPT: 2617 - ÖİK: 628, Ankara,.

Bentz, D. P. (2007). Internal curing of high-performance blended cement mortars. *ACI Materials Journal*, *104*(4), 408.Deeb, R. (2013) 'FLOW OF SELF-COMPACTING FLOW OF SELF-COMPACTING'. Tez

Dinakar, P., Sethy, K. P. & Sahoo, U. C. (2013) 'Design of self-compacting concrete with ground granulated blast furnace slag', *JOURNAL OF MATERIALS&DESIGN*. Elsevier Ltd, 43, pp. 161–169. doi: 10.1016/j.matdes.2012.06.049.

Druta, C. (2003) 'TENSILE STRENGTH AND BONDING CHARACTERISTICS OF SELF-COMPACTING CONCRETE', *Master Thesis*, (August).

Holt, E. E. (2001). *Early age autogenous shrinkage of concrete* (Vol. 446). Espoo, Finland: Technical Research Centre of Finland.

EFNARC. (2002):European Federation of National Associations Representing for Concrete 'Specification and Guidelines for Self-Compacting Concrete', 44(February).

EFNARC.(2005) European Federation of National Associations Representing for Concrete,'The European Guidelines for Self-compacting Concrete':Specification, Production and Use, The European Federation of Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems.

Famili, H., Khodadad Saryazdi, M. & Parhizkar, T. (2012) 'Internal curing of high strength self consolidating concrete by saturated lightweight aggregate - effects on material properties', *International Journal of Civil Engineering*, 10(3), pp. 210–221.

Garcia-taengua, E. (2018) 'Fundamental Fresh State Properties of Self-Consolidating Concrete : A Meta-Analysis of Mix Designs', 2018, pp. 11–13.

Gesoğlu, M., Güneyisi, E. & Özbay, E. (2009) 'Properties of self-compacting concretes made with binary, ternary, and quaternary cementitious blends of fly ash, blast furnace slag, and silica fume', *Construction and Building Materials*, 23(5), pp. 1847–1854. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2008.09.015.

Hajime & Kazumasa (1996) ‘Self-Compacting High Performance Concrete’, pp. 269–270.

Hameed, M. A. & Ahmad, D. S. (2005) ‘A study of mix design and durability of self compacting concrete’, *Civil Engineering*, Master of(December), p. 112.

İhsan, A. (2017) ‘Influence of Additives on the Porosity Related Properties of Self-Compacting’.

Jamal Ahmadi1, Behzad Saeedi Razavi, Hamidreza Amini& M. M. Civil (2018) ‘INTERNAL CURING EFFECT ON PROPERTIES OF SELF-COMPACTING CONCRETE’, *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 9(11), pp. 2126–2131.

Khaleel, O. R. & Razak, H. A. (2011) ‘The Effect of Coarse Aggregate on Fresh and Hardened Properties of Self-Compacting Concrete (SCC)’, *Procedia Engineering*. Elsevier B.V., 14, pp. 805–813. doi: 10.1016/j.proeng.2011.07.102.

Koehler, E. P. & Fowler, D. W. (2007) ‘Self-Consolidating Concrete for Precast Structural Applications)’, 7.

Li, Z. (2011). Introduction to concrete. *Advanced Concrete Technology, John Wiley and Sons*.

Lopez, M., Kahn, L. F., & Kurtis, K. E. (2008). Effect of internally stored water on creep of high-performance concrete. *ACI Materials Journal*, *105*(3), 265.

Matos, P. R. de, Foiato, M. & Prudêncio, L. R. (2019) ‘Ecological, fresh state and long-term mechanical properties of high-volume fly ash high-performance self-compacting concrete’, *Construction and Building Materials*. Elsevier Ltd, 203, pp. 282–293. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2019.01.074.

El Mir, A. & Nehme, S. G. (2017) ‘Utilization of industrial waste perlite powder in self-compacting concrete’, *Journal of Cleaner Production*. Elsevier Ltd, 156, pp. 507–517. doi: 10.1016/j.jclepro.2017.04.103.

Mohamed, O. A. (2019) ‘E ff ect of Mix Constituents and Curing Conditions on Compressive Strength of Sustainable Self-Consolidating Concrete’.

Naik, T. R. & Kraus, R. N. (2002) ‘Demonstration of manufacturing technology for concrete and clsm utilizing wood ash from wisconsin’, *UWM Centre for By product Utilization*, (538), p. 124.

Nikbin, I. M., Beygi, M. H. A., Kazemi, M. T., Amiri, J. V., Rahmani, E., Rabbanifar, S., & Eslami, M. (2014). A comprehensive investigation into the effect of aging and coarse aggregate size and volume on mechanical properties of self-compacting concrete. *Materials & Design*, *59*, 199-210.

Oner, A. & Akyuz, S. (2007) ‘An experimental study on optimum usage of GGBS for the compressive strength of concrete’, *Cement and Concrete Composites*,

29(6), pp. 505–514. doi: 10.1016/j.cemconcomp.2007.01.001.

P.K.Mehta& J.M. Paulo.(2006), Concrete Microstructure, Properties, and Materials,

Ponikiewski, T. & Gołaszewski, J. (2014) 'The influence of high-calcium fly ash on the properties of fresh and hardened self-compacting concrete and high performance self-compacting concrete', *Journal of Cleaner Production*, 72, pp. 212–221. doi: 10.1016/j.jclepro.2014.02.058.

Rashad, A. M. (2016) 'A synopsis about perlite as building material - A best practice guide for Civil Engineer', *Construction and Building Materials*, 121, pp. 338–353. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2016.06.001.

S. U. Khan, M. F. Nuruddin, T. Ayub, & N. Shafiq, "Effects of different mineral admixtures on the properties of fresh concrete," The Scientific World Journal, vol. 2014, Article ID 986567, 11 pages, 2014.

Salhi, M., Ghrici, M., Li, A., & Bilir, T. (2017). Effect of curing treatments on the material properties of hardened self-compacting concrete. *Advances in concrete construction*, *5*(4), 359-375.

Shetty, M. S. (2015). Text book of concrete technology (theory and practice) S. *Chand & Company Ltd*.

Siddique, R. (2012) 'Utilization of wood ash in concrete manufacturing', *Resources, Conservation and Recycling*. Elsevier B.V., 67, pp. 27–33. doi: 10.1016/j.resconrec.2012.07.004.

Sonebi, M. & Bartos, P. J. M. (2002) 'Filling ability and plastic settlement of self-compacting concrete', *Materials and Structures/Materiaux et Constructions*, 35(252 SPEC.), pp. 462–469.

Song, C., Choi, Y. C. & Choi, S. (2016) 'Effect of internal curing by superabsorbent polymers – Internal relative humidity and autogenous shrinkage of alkali-activated slag mortars', *Construction and Building Materials*. Elsevier Ltd, 123, pp. 198–206. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2016.07.007.

Su, N., Hsu, K. & Chai, H. (2001) 'A simple mix design method for self-compacting concrete', 31, pp. 1799–1807.

Şahmaran, M., Christianto, H.A.& Yaman, İ.O., 2006. "The effect of chemical admixtures and mineral additives on the properties of self-compacting mortars", Cement & Concrete Composites 28, 432-440.

TS EN 12390-3.(2003); Beton – Sertleşmiş Beton Deneyleri – Bölüm 3: Deney Numunelerinin Basınç Dayanımının Tayini"

TS EN 12350-8.(2003) " Taze beton deneyleri bolum 8: kendiliğinden yerleşen beton-Yayılma deney

Türkmen, I. & Kantarci, A. (2007) 'Effects of expanded perlite aggregate and different

curing conditions on the physical and mechanical properties of self-compacting concrete', *Building and Environment*, 42(6), pp. 2378–2383. doi: 10.1016/j.buildenv.2006.06.002.

Uysal, M. & Sumer, M. (2011) 'Performance of self-compacting concrete containing different mineral admixtures', *Construction and Building Materials*. Elsevier Ltd, 25(11), pp. 4112–4120. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2011.04.032.

Vejmelková, E., Keppert, M., Grzeszczyk, S., Skaliński, B., & Černý, R. (2011). Properties of self-compacting concrete mixtures containing metakaolin and blast furnace slag. *Construction and Building Materials*, *25*(3), 1325-1331.

Zhao, H., Sun, W., Wu, X., & Gao, B. (2012). Effect of initial water-curing period and curing condition on the properties of self-compacting concrete. *Materials & Design*, *35*, 194-200.

Zhao, H., Sun, W., Wu, X., & Gao, B. (2012). Effect of initial water-curing period and curing condition on the properties of self-compacting concrete. *Materials & Design*, *35*, 194-200.

ÖZGEÇMİŞ



Ad, Soyad : Abdulhadi Fathi Ali ALAMMAR
Doğum Tarihi ve Yeri : 19.12.1984 Tacura-Libya
Medeni Hali : Bekar
Yabancı Dil : İngilizce, Türkçe
E-posta : afathi934@gmail.com

Eğitim

Lise : Shuhadaa Al-Damour High School.
Lisans : Mühendislik Akademisi Tacura inşaat mühendisliği.

İş deneyimi

İş yeri : Libya hükümeti alanında 10 yıl çalıştı.