T.C.
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YÜKSEK ORANDAKİREÇTAŞI TOZU İÇEREN KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN HARCIN TAZE VE SERTLEŞMİŞ ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Kübra ULUGERGER

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ŞANLIURFA
2018

T.C.
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YÜKSEK ORANDA KİREÇTAŞI TOZU İÇEREN KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN HARCIN TAZE VE SERTLEŞMİŞ ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Kübra ULUGERGER

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ŞANLIURFA
2018

Doç. Dr. Kâzım TÜRK'ün danışmanlığında, Kübra ULUGERGER'in hazırladığı **"Yüksek Oranda Kireçtaşı Tozu İçeren Kendiliğinden Yerleşen Harcın Taze Ve Sertleşmiş Özelliklerininİncelenmesi"** konulu bu çalışma 28/02/2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

İmza

Danışman :Doç. Dr. Kâzım TÜRK .....

Üye :Prof. Dr. M. Arif GÜREL .....

Üye :Prof. Dr. Paki TURĞUT .....

Bu Tezin İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yapıldığını ve Enstitümüz Kurallarına Göre Düzenlendiğini Onaylıyorum.

Prof. Dr. H. Murat ALGIN
Enstitü Müdürü

Bu Çalışma HÜBAK Tarafından Desteklenmiştir.
Proje No: 12148

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğraflarınkaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET i
ABSTRACT ii
TEŞEKKÜR iii
ŞEKİLLER DİZİNİ iv
ÇİZELGELER DİZİNİ v
SİMGELER DİZİNİ vi
1. GİRİŞ 1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 6
3. MATERYAL ve YÖNTEM 17
3.1. Materyal 17
3.1.1. Çimento 17
3.1.2. Mineral katkılar 17
3.1.3. Agrega 18
3.1.4. Kimyasal katkı 18
3.2. Deneysel Çalışma 19
3.2.1. Karışımların hazırlanması 19
3.2.2. Taze hal özellikleri 21
3.2.2.1. Mini çökme-yayılma deneyi 22
3.2.2.2. Mini V -hunisi deneyi 23
3.2.2.3. Rotasyonel viskozimetre testi 24
3.2.3. Sertleşmiş hal özellikleri 26
3.2.3.1. Ultra ses – hızı deneyi 26
3.2.3.2. Yarmada çekme dayanımı deneyi 27
3.2.3.3. Basınç dayanımı deneyi 28
3.2.4. Durabilite özellikleri 28
3.2.4.1. Kapiler su emme deneyi 28
3.2.4.2 Karbonatlaşma deneyi 30
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA 33
4.1.Taze Özellikler 33
4.1.1. Mini çökme – yayılma 33
4.1.2. Mini V-hunisi 35
4.1.3. Rotasyonel viskozimetre 36
4.2. Sertleşmiş Hal Özellikleri 40
4.2.1. Ultrases geçiş hızı 40
4.2.2. Basınç dayanımı 44
4.2.3. Yarmada çekme dayanımı 46
4.3. Durabilite Özellikleri 48
4.3.1. Kapiler su emme 48
4.3.2. Karbonatlaşma 49
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER 55
ÖZGEÇMİŞ 64

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

YÜKSEK ORANDA KİREÇTAŞI TOZU İÇEREN KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN HARCINTAZE VE SERTLEŞMİŞ ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

KübraULUGERGER

Harran Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Kâzım TÜRK
Yıl: 2018, Sayfa:64

Bu tez çalışmasında, kendiliğinden yerleşen betonun (KYB) mekanik, dayanıklılık ve özellikle işlenebilirlik özellikleri bakımından büyük önem arzeden toz malzemeye alternatif olarak kireçtaşı tozunun (KTT) kullanılabilirliği araştırılmıştır. Çünkü, Şanlıurfa'da yüksek rezerve sahip olan kireçtaşı kırmataş şeklinde beton agregası olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Konkasörle kırma işlemi esnasında, önemli miktarda kireçtaşı tozu ortaya çıktığı mevcut işletmelerde gözlemlenmiştir. Dolayısıyla, kendiliğinden yerleşen harçta (KYH) kireçtaşından elde edilmiş olan tozun farklı oranlarda (%0, %15, %25 ve %35) çimento yerine kullanılmasının harcın taze ve sertleşmiş özelliklerine etkisi incelenmiştir. Bu amaçla, farklı oranlarda KTT içeren KYH karışımları için mini çökme-yayılma, V-hunisi ve rotasyonel viskozimetre deneyleri ile üretilen karışımların 3, 28 ve 56 günlük Ultrases geçiş hızı (UPV), basınç ve yarmada çekme dayanımı testleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, karışımlara ait 28 günlük kapiler su emme ve karbonatlaşma derinliği gibi durabilite özellikleri de belirlenmiştir. Sonuçta, çimento yerine KTT kullanılmasının, genelde karışımların işlenebilirlik ve reolojik özellikleri üzerinde olumsuz bir etkiye sahip olmadığı görülmüştür. Ayrıca, KTT'nin %15 oranına kadar kullanılmasının kontrol karışımına kıyasla, mekanik ve durabilite özelliklerini tüm kür yaşları için fazla etkilemediği gözlemlenmiştir.

ANAHTAR KELİME: Kireçtaşı tozu, reolojik ve mekanik özellikler, durabilite, karbonatlaşma

ABSTRACT

MSc Thesis

EXAMINATION OF FRESH AND HARDENED PROPERTIES OF SELF-COMPACTINGCONCRETE MORTAR CONTAININGHIGH RATIO OF LIMESTONEDUST

KübraULUGERGER

Harran University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Kâzım TÜRK
Year: 2018, Page: 64

In this thesis, the usability of limestone powder (LSP) as an alternative to powder material which is of great importance in terms of mechanics, durability and especially workability properties of self-compacting concrete (SCC) has been investigated. The limestone, which has high reserves in Şanlıurfa, is widely used as concrete aggregate in the form of crushed stone. During crushing with a crusher, significant amounts of limestone dust have been observed at existing plants. Therefore, the effect of replacing the cement with different proportions (0%, 15%, 25% and 35%) of the powder obtained from the limestone in the self-compacting mortar (SCM) has been investigated on the fresh and hardened properties of the mortar.For this purpose Ultrasonic Transmission Rate (UPV), pressure and tensile strength tests of 3, 28 and 56 days mixtures of SCM mixtures containing LSP at different ratios, mini-slump-spread, V-funnel and rotational viscometer tests were performed.In addition, durability properties such as 28 days capillary water absorption and carbonation depth of mixtures were also determined. As a result, it has been found that using LSP instead of cement does not generally have a negative effect on the workability and rheological properties of the mixtures.It has also been observed that the use of LSP up to 15% does not significantly affect the mechanical and durability properties of the control mixture for all curing ages.

KEYWORDS: Limestone powder, rheological and mechanical properties, durability, carbonation

TEŞEKKÜR

Bu yüksek lisans tezi ,Doç. Dr. Kâzım TÜRK'ün danışmanlığında tamamlanmıştır.Çalışmadaki emeği ve katkılarından dolayı öncelikle danışmanım Doç.Dr. Kazım TÜRK'e, değerli hocalarım, Yrd.Doç.Dr. Zeynep ALĞIN, Prof.Dr. H. Murat ALĞIN, Yrd.Doç.Dr. Veysel GÜMÜŞ, Prof.Dr. Paki TURĞUT Öğr.Gör.Dr. Serhat DEMİRHAN'a, Şanlıurfa Büyükşehir Belediyesi Ulaşım Daire Başkanı İnşaat Yüksek Mühendisi M. Can HALLAÇ'a, Çevre Yüksek Mühendisi Dilan TOPRAK'a, Annem'e, Babam'a, kardeşim Mimar Mahmut ULUGERGER'e her zaman bana destek oldukları için teşekkürlerimi sunarım.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 3. 1. Karışımların hazırlanmasında kullanılan mikser 19
Şekil 3. 2. KTT numunelerinin kür havuzunda kür edilmesi 21
Şekil 3. 3. KTT numunelerinin etüv durumu 21
Şekil 3. 4. Mini çökme-yayılma testi 23
Şekil 3. 5. Mini çökme-yayılma test aparatı 23
Şekil 3. 6. Mini V-hunisi deney aparatı 24
Şekil 3. 7. Rotasyonel viskozimetre cihazı 25
Şekil 3. 8. Akışkanlar için Bingham Modeli 25
Şekil 3. 9. Ultra ses-hızı test cihazı 27
Şekil 3. 10. Basınç dayanımı a) Küp numuneleri ve b) Test cihazı 28
Şekil 3. 11. KYH numunelerinin etüv durumu 29
Şekil 3. 12. Kapiler Su Emme deney düzeneği 30
Şekil 3. 13. Karbonatlaşma deney tankı 31
Şekil 3. 14. Karbonatlaşmayı gösteren renk değişimi 32
Şekil 4. 1. Farklı oranlarda KTT içeren karışımların bağıl çökme-yayılma grafiği 34
Şekil 4. 2. Farklı oranlarda KTT içeren karışımların bağıl huni hızı grafiği 36
Şekil 4. 3. KTT karışımlarının ölçüm sürelerine göre akma gerilmesi değişimi 37
Şekil 4.4 Taze harç karışımlarına ait kayma gerilmesi ile kayma hızı arasındaki ilişki (T=0) 38
Şekil 4.5 Taze harç karışımlarına ait kayma gerilmesi ile kayma hızı arasındaki ilişki (T=20) 39
Şekil 4.6 Taze harç karışımlarına ait kayma gerilmesi ile kayma hızı arasındaki ilişki (T=40) 40
Şekil 4.7. 3 ve 28 günlük UPV değerlerinin karşılaştırılması 41
Şekil 4. 8. Ultrases-hızı veBasınç dayanımı 42
Şekil 4. 9. Ultrases-hızı değerleri 43
Şekil 4. 10. Farklı oranda KTT içeren numunelerin basınç dayanımları 45
Şekil 4. 11. Farklı oranda KTT içeren numunelerin Yarmada-Çekme dayanımları 46
Şekil 4. 12. Kapiler Su Emme Katsayıları 49
Şekil 4. 13. 7 günlük karbonatlaşma derinliği ve ağırlık değişimi 51
Şekil 4. 14. 15 günlük karbonatlaşma derinliği ve ağırlık değişimi 52
Şekil 4. 15. 30 günlük karbonatlaşma derinliği ve ağırlık değişimi 52

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 3. 1. Çimento kimyasal kompozisyonları 17
Çizelge 3. 2. Kireçtaşı Tozunun kimyasal kompozisyonu 18
Çizelge 3. 3. Karışım kompozisyonları (gr/cm^3) 20
Çizelge 4. 1. Mini Çökme-Yayılma, V-hunisi test sonuçları 33
Çizelge 4. 2. UPV test sonuçları 41
Çizelge 4. 3. Yarmada Çekme Dayanımı/Basınç Dayanımı oranları 47
Çizelge 4. 5. Kapiler Su Emme Katsayıları 48
Çizelge 4. 6. Kabonatlaşma derinlikleri 50
Çizelge 4. 7.7 günlük Kabonatlaşmaya bağlı ağırlık değişimleri 50
Çizelge 4. 8.15 günlük Kabonatlaşmaya bağlı ağırlık değişimleri 50
Çizelge 4. 9. 30 günlük Kabonatlaşmaya bağlı ağırlık değişimleri 51

SİMGELER DİZİNİ

KTT	Kireçtaşı Tozu
KYH	Kendiliğinden Yerleşen Harç
KYB	Kendiliğinden Yerleşen Beton
GB	Geleneksel Beton
C-S-H	Kalsiyum-Silika-Hidrat
PÇ	Portland Çimentosu
ASTM	Amerikan Test ve Standart Oluşturma Birliği
EFNARC	Europan Federation of National Trade Associations

1. GİRİŞ

1980'li yıllardan önce beton yapılarda dayanıklılık Japonya'da büyük bir problemdi. Dayanıklılık problemleri incelenmiş ve sebeplerinden birinin taze betonun sıkıştırılma işleminin yeterince iyi uygulanmaması olduğu görülmüştür. Üretilecek olan dayanıklı beton için kalifiye elemanların betonu iyi sıkıştırması gerekiyordu ancak kalifiye eleman yetersizliği, beton taze haldeyken işlenebilirliğinin düşük olması ve şantiyede fazla sayıda kalifiye elemana gerek kalmadan başarılı bir şekilde bu problemi çözmek için kendi ağırlığıyla sıkışarak herhangi bir vibrasyona gerek kalmadan kalıbın her noktasına yerleşebilen özel bir tip beton üretilmesi tasarlanmıştır. Bu şartlarda üretilmesine ihtiyaç duyulan beton 1986 yılında Okamura tarafından oluşturulmuştur (Okamura ve Ouchi, 1999).

Kendiliğinden Yerleşen Beton (KYB), yoğun donatılı ve dar kesitli elemanlar içerisine kendi ağırlığı altında akabilen ve sıkışabilen, homojenliğini koruyarak herhangi bir ilave sıkıştırmaya gerek olmaksızın kalıbı tamamıyla dolduran özel bir betondur. KYB'lar boşluksuz bir şekilde kalıbı doldurma özelliği sayesinde dayanım ve dayanıklılığı geleneksel betonlara oranla daha yüksek olabilmektedir (THBB, 2007).

Beton bileşenleri açısından önceleri sadece çimento, agrega ve sudan oluşmuştur. Bu bileşenlere daha sonra betona pek çok olumlu özellik kazandıran kimyasal ve mineral katkılar eklenmiştir. Günümüzde ise neredeyse kimyasal ve mineral katkısız beton üretilmez olmuştur (Felekoğlu ve ark., 2004).

KYB üretiminde kimyasal katkı olarak yeterli miktarda süperakışkanlaştırıcılar gerekliydi. Süperakışkanlaştırıcı katkılar KYB üretilirken su/bağlayıcı oranının düşürülmesi ve yüksek akıcılık sağlamak amacıyla kullanılır (Bürge, 1999).

KYB üretimi için kullanılan akışkanlaştırıcı katkılar, su/bağlayıcı madde oranını düşük tutmasının yanı sıra betonda hem homojen bir dağılma göstererek

segregasyonu önlemekte hem de akışkanlığı sağlamaktadır. Dayanıklılık ve dayanımı açısından KYB normal betona göre daha avantajlıdır (Felekoğlu ve ark., 2005).

Yeni nesil süperakışkanlaştırıcılar, uzun polimer zincirlere sahiptir. İnce taneciklerin yüzeyinde absorbe olan süperakışkanlaştırıcılar, çimento tanelerinin sterik etki ve elektriksel itki ile dağılmasını sağlar (Uchikawa ve ark.,1997; Yoshioka ve ark., 1997).

KYB' nin kendine özgü reolojik özelliklerinden dolayı hem büzülmeyi önleme, yüksek hidratasyon ısısından dolayı çimento miktarını düzenlemek hem de viskoziteyi düzenleyerek ve akışkanlığı sağlamak amacıyla işlenebilirliği düzenlemek için filler malzeme kullanılmaktadır. Genellikle kullanılan bu malzemeler taş tozu, uçucu kül, silis dumanı ve öğütülmüş yüksek fırın cürufu gibi filler malzemelerdir (EFNARC, 2002).

KYB bileşiminde kullanılacak olan filler (toz madde) malzemelerde aranan önemli özelliklerden biride en büyük tane çapının 0,125 mm'nin altında olmasıdır. İstenen bu özellikten dolayı KYB üretiminde kullanılan agrega ve kum içerisinde bulunabilecek 0,125 mm altındaki ince maddelerde filler malzeme içerisine dahil edilmelidir. Kullanılan bu filler malzemenin en etkin olduğu optimum kullanım miktarı ise bu maddelerin mekanik performansı ve mineralojik kökenine bağlıdır (Uygunoğlu, 2008).

KYB'da kullanılan toz madddeler viskoziteyi arttırmak amacıyla kullanılırlar, parçacıklar arasındaki etkileşiminin artmasıda viskoziteyi arttırır bu da parçacık boyutunun küçülmesiyle elde edilir. Harcın agregaları daha iyi sarmasını sağlayan toz maddeler karışımın katı iskeletini zenginleştirir ve malzemenin daha kompakt olmasını sağlarlar (Yahia ve ark., 1999).

Mineral filler olarak KYB tasarımında ince öğütülmüş kireçtaşı tozu, granit ve kuvartz kumu kullanılabilir. Bu tozlar inceldikçe etkinliği artar. Beton karışımında kireçtaşı tozu homojen bir şekilde dağılmaz ise dayanım ve dayanıklılık açısından

olumsuz etkiler meydana gelebilir. Çünkü kum ve agrega pozitif yüklü ve kireçtaşı tozu elektrostatik açıdan negatif yüklü olduğundan agrega yüzeyine yapışır. Bu durumu önlemek için malzemelerin karıştırılma sırasına ve yöntemine dikkat gösterilmelidir. Mikro yapı incelemesi açısından çalışmalar yapılmış ve en iyi ince kesit görüntüsünün önce çimento ile kireçtaşı tozunun karıştırılıp daha sonra agreganın ilave edilmesiyle oluşturulduğu görülmüştür (Malhotra ve Carette, 1983).

KYB'dan istenen en önemli özelliklerden biri de harçların taze özellikleridir. KYB'ların tasarımları yapılırken, karışım oranlarının belirlenmesinde Kendiliğinden Yerleşen Harçlar (KYH)'ın reolojik özellikleri dikkate alınır (Parkve ark.,2005).

KYH, betonarme yapıların onarım ve güçlendirilmesinde kullanılabilecek türden yeni teknoloji ürünü malzemelerdir. Geleneksel harç ve beton ile güçlendirme yapılması gerektiğinde dar kesitlerin vibrasyonu mümkün olmamakta yerleştirme zorlukları tasarlanan işlemin pratiğe dökülmemesine neden olmaktadır. Bu sebeple KYB'lara ek olarak daha küçük agrega boyutlarına sahip KYH çok dar kesitlerin dahi sorunsuzca doldurulmasına olanak sağlamaktadır. (Felekoğlu ve ark.,2004; Courard ve ark., 2002; Khayat, 1999).

KYB ve KYH'da; kimyasal katkılar, akışkanlaştırıcılar ve puzolanik mineral katkıların tümünün veya bir kısmının kullanılması ihtiyacı doğmaktadır. Bu malzemelerin seçimi ve beton tasarımına uygun olarak kullanılmasına yönelik yeni deney yöntemleri ve dolayısıyla standartlar geliştirilmektedir. Günümüzde var olan tek standart, EFNARC (2002) (Europan Federation of National Trade Associations) tarafından yapılmaktadır. EFNARC, KYB'nin işlenebilirliği ile ilgili olarak üç özellik gerektirir. Bunlar bulunduğu hacmi boşluksuz doldurma yeteneği akma oranıyla belirlenen uygun viskozite, dar kesitlerden geçme kabiliyeti ve ayrışma (segregasyon) direncidir (Ozkulve ark., 2000).

KYB'da işlenebilirlik geleneksel betonda kullanılan deney metodlarıyla belirlenemez. KYB'ların dayanım ve dayanıklılığı betonun yaş haldeki performansı ile doğrudan ilgilidir. Bu yüzden taze haldeki harç ve betonun reolojik özellikleri ile

ilgili viskozite ve kayma eşiği değerleri ile EFNARC tarafından önerilen mini çökme-yayılma ve mini V-hunisi deneyleri uygulanmıştır (EFNARC, 2002).

KYB veya KYH'ların en olumsuz tarafı içeriğinde kullanılan kimyasal katkı ve fazla miktarda çimento kullanımından kaynaklanmaktadır. KYB içerisinde kullanılan kimyasal katkılar betonun uygun viskozite ve kendiliğinden yerleşebilme özelliğini sağladığından maliyet düşürme çalışmaları çimento miktarı azaltılarak yerine toz halde mineral veya puzolanik madde kullanılması şeklindedir (Şahmaran ve ark.,2006).

Bu toz malzemelere örnek olarak uçucu kül, yüksek fırın cürufu, silis dumanı, mermer tozu, metakaolin ve kireçtaşı tozu verilebilir. Bu katkıların KYB ve KYH üzerine etkilerini araştıran çalışmalar yapılmıştır. Şahmaran ve ark. (2006) kimyasal katkılar ile uçucu kül, tuğla tozu, kaolin ve kireçtaşı, Türk ve ark.,(2006) F sınıfı uçucu kül, Felekoğlu (2007) iki farklı kireçtaşı tozunu karşılaştırarak, Güneyisi ve ark. (2010) uçucu kül, silis dumanı, metakaolin gibi mineral katkıları kullanarak KYB ve KYH'ın mühendislik özellikleri üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Aynı zamanda toz malzeme kullanımı ile maliyetin de düşürülebildiği görülmüştür (Şahmaran ve ark.,2006).

Maliyet ile ilgili ABD'de ENR adlı firma 2002 yılında yaptığı bir çalışmada KYB ve geleneksel beton (GB) arasındaki maliyet farkını incelemiş ve KYB'nin GB'a göre 5 $\$/m^3$ daha fazla maliyetli olduğunu ancak işçilik açısından yaptığı değerlendirmede ise KYB'nin %32 oranında maliyeti azalttığını rapor etmiştir (Martin, 2002).

Öğütücü tipine de bağlı olmakla beraber genel olarak granit tozu, mikro yapısı incelendiğinde kireçtaşı tozuna kıyasla daha çok kusurlu mikro tane içerir. KTT ile üretilen KYB, diğer puzolanik maddelerin kullanıldığı KYB'lere kıyasla kür işlemine daha az hassastır. Pürüzlü mikro yüzeyi nedeniyle, yüksek oranda karışım suyu absorbe etmesi ve erken dayanımı hızlandırıcı etkisi sebepleriyle kür işlemine hassasiyetinin azaldığı kabul edilebilir (Danzingerve ark., 2002).

Betonun dayanım kazanma hızı üzerine KTT'nin etkisi üç mekanizma ile açıklanmıştır:

1- CSH (Kalsiyum - Silikat - Hidrat) oluşumuna uygun çekirdek oluşturarak hidratasyon reaksiyonlarını hızlandırır.
2- Özellikle C_3A'sı yüksek çimentolarla reaksiyona girip bağlayıcı özelliği olan karboalüminat oluşturur.
3- İnceliği arttıkça hidratasyonu hızlandırır ve erken dayanımı arttırır, fakat nihai dayanımda değişiklik meydana gelmez (Malhotra ve Carette, 1983).

Bu nedenlerin yanında KYH üretiminde yöremizde rezervi yüksek olan KTT kullanılması tercih edilmiştir. Yürütülecek deneysel çalışmalarda KTT'nun çimentoyla yer değiştirme yüzdesine bağlı olarak KYH'ın reolojik ve mekanik karakteristiklerinin incelenmesinin yanı sıra karbonatlaşma seviyesini nasıl/ne ölçüde etkilediğide incelenmiştir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Beton tüm dünyada alt ve üst yapı inşaatlarında büyük hacimlerde kullanılmaktadır. Betonu oluşturan en önemli malzemelerden biri olan çimentonun üretimi ile atmosfere büyük oranda karbondioksit (CO_2) salınır. Türkiye Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı'nın 2011 verilerine göre Dünya'da çimento üretiminde ilk sırada Çin bulunmaktadır. Türkiye ise dünyada çimento üretiminde 5. sıradadır. Dünya'da insandan kaynaklı karbondioksit (CO_2) oluşumunda çimento 3. sırada ve CO_2emisyonunun %5-8'inden yine çimento sorumludur. Türkiye CO_2 salınımında Avrupa'da 7. sırada yer almaktadır. Ayrıca 1 ton Portland çimento üretildiğinde 1 ton CO_2 atmosfere salınmış olur. Dünya çimento üretimi 2013 yılında yaklaşık olarak 4 milyar ton olmuştur. 4 milyar ton çimento 24 milyar ton ya da 10 milyar m^3 beton demektir. Tüm bunlara rağmen yine de beton çevre dostu yapı malzemeleri arasındadır.

Sürdürülebilirlik açısından inşaat ve beton sektörünün önemli bir yeri bulunmaktadır. Burada sürdürülebilirliğe sadece maliyet açısından yaklaşmak doğru olmayıp, sektöre bir bütün olarak yaklaşılmalıdır. Endüstriyel atıklar bu sektörde daha çok değerlendirilmeli, doğal kaynaklarımız korunmalı, çevreye daha duyarlı üretim yapılmalı, yapıların daha uzun ömürlü tasarlanmaları ve sonrasında bakım onarım maliyetlerinin de azaltılmaları gerekmektedir. Genelde betonarme yapıların ömrü 50 yıl olarak tasarlansa da bu ömür yaklaşık 30 yılı pek geçmemektedir. Sürdürülebilirlik açısından beton üretimi doğal kaynaklara dayandığı için hiçbir zaman tam anlamıyla sürdürülebilir bir malzeme olmayacaktır. Bunlara rağmen beton içeriğindeki çimento belirli oranlarda endüstriyel atıklar ve mineral katkılarla yer değiştirilerek kullanılmasıyla daha sürdürülebilir olması sağlanabilir.

Norveç Beton İnovasyon Merkezi'ne göre beton, performans kriterleri önceden belirlenmiş nihai bir üründür ve uygulamalara bağlı olarak sürdürülebilirlik özelliği iyileştirilebilir. Potansiyel iyileştirmeleri ve zorlukları aşağıdaki hususlar kapsamında açıklamışlardır:

- Beton içerisindeki çimentoyu daha fazla mineral katkı ile yer değiştirmek, ayrıca kalsine marn gibi az uygulanan malzemeler kullanmak,
- Beton içerisindeki çimentoyu mineral katkı kombinasyonları ile yerdeğiştirerek betonun dayanım ve dayanıklılığını iyileştirmek,
- Su azaltıcı katkı kullanımı ile beton içerisindeki çimento miktarını azaltmak,
- Uzak mesafelerden reaktif olmayan agrega yerine uygun bağlayıcı kombinasyonları kullanarak yakın kaynaktan alkali silika reaksiyonuna daha duyarlı agrega kullanmak,
- Kaynağı yakın (yerel) kırma taş agrega ile beton üretmek.

Tüm bu nedenlerden de anlaşıldığı gibi hem çevreye daha duyarlı hem de sürdürülebilirlik açısından çimento ve beton üretiminde kimyasal katkı, mineral katkı ve endüstriyel atık malzemelerinin kullanımı olumlu sonuçlar verecektir.

1983 yılında Japonya'da beton yapılardaki dayanıklılık önemli bir problemdi. Okamura ve Ouchi bu problemi incelemiş ve bunun en önemli sebeplerinden birinin yerleştirilen taze betondaki sıkıştırma işleminin yeterince iyi uygulanmaması olduğunu tespit etmişlerdir. Bu sorunu çözmek için, tamamen kendi ağırlığıyla herhangi bir vibrasyona gerek duymadan sıkışarak kalıbın her noktasına yayılan özel bir tip beton üretilmesini tasarlamışlardır. Böylece kendiliğinden yerleşen beton (KYB) kavramı ortaya çıkmıştır.

KYB, herhangi bir vibrasyon gerektirmeden tamamen kendi ağırlığıyla akıp sıkışabilen, sık donatılı yerlerde bile kalıbın her noktasına yayılabilen, dayanım kazanıncaya kadar ayrışma ve terleme gibi sorunlar olmadan homojen kalabilen bir yapı malzemesidir. İlk olarak Tokyo Üniversitesi'nde Okamura tarafından 1986 yılında betonda kendiliğinden sıkışabilirlik konusu ortaya çıkarılmıştır. Vibrasyon gerektirmeyen beton dökümü ve su altında beton dökümü uygulamalarında KYB üretilmeye başlanmıştır. Daha sonra Ouchi, Ozawa ve Maekawa'da aynı üniversitede KYB üzerine araştırmalar yapmış, 1988 yılında KYB'yi dayanım ve dayanıklılık açısından geliştirmek ve yüksek performans sağlamak için çalışmalar yapmışlardır.

Bu özellikleri sağlaması için KYB'nin aşağıdaki şartlara sahip olması gerektiğini öngörmüşlerdir;

1. Taze halde iken kendiliğinden sıkışabilme,
2. İlk olumsuz etkilere direnebilecek derecede yüksek erken dayanım,
3. Sertleşmiş halde tüm dış etkilere karşı bozulmadan kalabilme.

Geleneksel betonlarla KYB'yi karşılaştırdığımızda KYB'nin vibrasyon gerektirmeden her türlü kalıba kendi ağırlığıyla yerleşebilmesi, hızlı uygulanması, gürültü kirliliğine engel olup sık donatıların arasından ayrışmadan kalıbı kolaylıkla doldurabilmesi, akıcı olması, minimum işçilik gerektirmesi, ekonomik olması açısından geleneksel betonlara göre pek çok avantajı vardır. Özellikle güçlendirme projelerinde KYB kullanılması avantajlıdır. Çünkü dar kalıplarda en uzak noktalara betonun homojen olarak yayılabilmesi bu tip betonlarla mümkün olmaktadır. KYB'nin kendiliğinden sıkışma yeteneği sayesinde vibrasyon gerektirmez ve tüm olumsuz etkenleri ortadan kaldırarak, işçilikten ve zamandan tasarruf sağlar. Ayrıca gürültü probleminin ortadan kalkması, şehir merkezlerinde gece beton dökümlerinde üstünlük sağlar.

Günümüzde KYB üretiminde, beton içerisindeki çimentoyu belirli bir oranda mineral katkı ile yer değiştirerek dayanım ve dayanıklılığını iyileştirip daha üstün performanslı beton elde edilmeye başlanmıştır.

EFNARC, büzülme, yüksek hidratasyon, maliyet gibi olumsuzluklar ve KYB'nin harç reolojisinin geliştirilmesi açısından günümüzde KYB karışımlarında toz malzeme olarak adlandırılan silis dumanı, pirinç kabuğu külü, metakaolin ve taş tozu gibi filler malzemeler kullanılmaktadır.

Türkiye Hazır Beton Birliği (THBB), çimento ve beton üretimi sonucu açığa çıkan CO_2emisyonunu en iyi ve hızlı bir şekilde azaltacak yöntemlerin; beton içerisindeki çimentonun bir kısmının mineral katkılarla yer değiştirdiği katkılı çimento kullanılmasıdır.

Skarendahl ve Petersson (2000), KYB'lerin performansları ile taze beton arasında önemli bir ilişki olduğunu, reoloji ve işlenebilirlik parametrelerinin KYB'nin pratikteki kullanım performansını etkilemekte olduğunu ve kendiliğinden yerleşme yeteneğini üç parametre ile karakterize etmişlerdir. Bunlar; doldurma yeteneği, ayrışmaya karşı direnç ve akış yeteneği olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca güçlü bir süperakışkanlaştırıcı ile birlikte yüksek akıcılık özelliğini gerçekleştirirken, düşük su/çimento oranına sahip yüksek mukavemetli beton üreterek beton kalitesinin dayanım ve dayanıklılık özellikleri arttırılmaktadır.

Nehdi ve ark.(1998)kireçtaşı tozu, silis dumanı ve öğütülmüş silisi ince malzeme olarak KYB'lere katarak akış direncine, viskoziteye, çökmeye ve terlemeye etkilerini incelemişlerdir. Ayrıca ayrışmayı önlemek amacıyla viskozite düzenleyici katkılardan da yararlanılabileceğini belirtmişlerdir.

Ozkul ve ark. (2000), KYB ile ilgili genel özellikleri incelemiş ve özellikle sık donatılı, karmaşık ve düzgün şekle sahip olmayan elemanların, yüksek perde duvarları ve geniş yüzeyli döşemelerin üretiminde aranan bir teknoloji olacağını ve Türkiye'de de onarım-güçlendirme ve prefabrike sektörleri başta olmak üzere inşaat dünyasında tanınmaya başlandığını belirtmiştir.

Bunun yanında KYB'nin reolojik özellikleri dikkate alındığında, kireçtaşı filleri, uçucu kül, silis dumanı gibi ince malzemeleri çimentonun yerine belli oranda kullanarak başarılı üretimler yapılabilir. Ayrıca durabilite özelliklerinden olan karbonatlaşma, kılcal su geçirimliliği, basınçlı su geçirimliliği ve hızlandırılmış klor geçirimliliği açısından da üstün özellikler taşıdığı sonucuna varmıştır.

Justnes ve arkadaşları, KYB'da kireçtaşı tozu yerine dengeleyici olarak kalsine kil kullanımını test etmişler ve kil miktarının artması viskoziteyi göreceli olarak sabit tutarken akma gerilmesini arttırdığı görülmüştür.

Malhotra ve Carette (1983), kireçtaşı tozunun betonun dayanım kazanma hızına etkisini üç mekanizma ile açıklamışlardır:

1. CSH (Kalsiyum - Silikat - Hidrat) oluşumuna uygun çekirdek oluşturarak hidratasyon reaksiyonlarını hızlandırır.
2. Özellikle C_3A'sı yüksek çimentolarla reaksiyona girip bağlayıcı özelliği olan karboalüminat oluşturur.
3. İnceliği arttıkça hidratasyonu hızlandırır ve erken dayanımı arttırır, fakat nihai dayanımda değişiklik meydana gelmez.

Yaman ve Şahmaran (2005), KYB karışım tasarımı yapılırken öncelikle KYH'ın KYB'nun karışım oranlarını belirlemede kullanılması gerekir.KYB'daaranan özellikleri etkileyen önemli faktörlerden biri harçların taze özelliğidir. Bu nedenle KYB'ların karışım heseplarına harçların reolojik özellikleri üzerinde yapılan testler sonucunda karar verilmektedir. Bu testler karmaşık deney aletleri içerdiği için genellikle yapılamamakta bunun yerine harçların işlenebilirlik özelliklerini bulmaya yarayan daha basit testler tercih edilebilmektedir.

Sağlam ve Özkul (2006)'da yaptığı araştırmalar sonucunda, çimento hamurları, harçlar ve betonlarda, çökme-yayılma, viskozite ve kayma eşiği arasında bir ilişki olduğunu belirtmişlerdir.

Courard ve ark. (2002), taze halde yüksek akıcılığa ve ayrışmaya karşı iyi dirence sahip olması özellikleri, üretim kalitesi ve verimlilik açısından sağladığı yararlara ilaveten çevre ve çalışma koşullarında getirdiği iyileşme KYB'nu bir çok ülkede olduğu gibi ülkemizde de yaygın olarak kullanılma durumuna getirmiştir. KYH ise özellikle betonarme yapıların onarım ve tamir işinde yeni bir teknoloji ürünü olarak tercih edilmektedir.

Bağlayıcılarda ince öğütülmüş malzemelerdeki artış genelde çimento hamurunun reolojik özelliklerinin değişimine sebep olur ve sonuç olarak çimento hamurunun ve beton karışımlarının işlenebilirliğini etkiler. Karışımın

işlenebilirliğindeki bu tür değişiklikler avantaj veya bir dezavantaja dönüşebilir. Bu çimento hamurunun reolojisini etkileyen birçok faktörden kaynaklanmaktadır (Grzeszczyk ve Lipowski, 1997). Belirli bir işlenebilirlik için eğer katı malzeme hacim yoğunluğu sabit tutularak ince toz malzeme ile çimento yer değiştirilirse karışımdaki yüzey alanının artmasından dolayı karışım suyu ihtiyacının artacağı beklenir. Bu durum bütün ince taneli katkılar için geçerli değildir (Collins ve Sanjayan, 1999).

Türk (2011) yaptığı çalışmada, uçucu kül ve silis dumanının Portland çimentosu ile ikili ve üçlü kullanımının KYH'ların hem ikili hem de üçlü sistem tüm karışımların 3 günlük basınç dayanımları kontrol harcına göre daha düşük olmasına karşın çimento yerine %10 ve %15 oranında sadece silis dumanı kullanılan karışımların 28 ve 91 günlük basınç dayanımları daha yüksek çıkmıştır. Ayrıca kontrol harcına ait rölatif ultrases hızı değerleri en yüksek çıkarken, ikili sistem silis dumanı katkılı karışımlara ait ultrases hızı değerlerinin kontrol harcınınkine çok yakın olduğu görülmüştür.

Kendiliğinden yerleşen betonlara bu özellikleri kazandıran yeni nesil süperakışkanlaştırıcılar ve viskozite düzenleyici kimyasal katkılar maliyeti de önemli ölçüde artırmaktadır (Bouzoubaa. ve Lachemi, 2001). Ancak KYB'da bağlayıcı olarak çimento ile yer değiştirmeli uçucu kül, öğütülmüş yüksek fırın cürufu ve taş tozu kullanımının maliyeti azaltırken aynı zamanda betonun taze ve mekanik özelliklerini önemli oranda iyileştirdiği tespit edilmiştir (Lachemi ve ark., 2003; Ghazel ve Khayat, 2002).

Güneyisi ve Gesoğlu(2007) uçucu kül ve metakaolin içeren KYH üzerine yaptıkları çalışmada, KYH karışımlarında serbest yayılma 24-26 cm arasında tutulmuşsa da mineral katkıların yüksek oranda kullanıldığı harçlarda V-hunisi akma süresi EFNARC sınırlarını sağlamamıştır. Ayrıca viskozite deney sonuçlarına göre, ikili sistemlerde metakaolin içeren KYH'ların viskozitesi kontrol karışımına göre daha yüksek olmasına rağmen uçucu kül içeren KYH'larda viskozite değerleri kontrol harcına göre bir azalma eğilimi göstermiştir.

Yaman ve Şahmaran (2005), kimyasal ve mineral katkılı KYH ile ilgili yaptıkları çalışmada, mineral katkıların kullanılması KYH'ların işlenebilirlik özelliklerini iyileştirmiştir. Uçucu kül ve kireçtaşı tozu kullanımının harçların işlenebilirlik özelliklerinin iyileştirmesinde viskozite düzenleyici katkılara iyi birer alternatif olabileceklerini göstermiştir. Ayrıca mineral katkıların kimyasal katkılara karşı bir dezavantajı çimentonun bir kısmı mineral katkıyla değiştirildiğinde ortaya çıkan dayanım kaybıdır.

Açıkgenç ve ark. (2013),kireçtaşı tozunun KYH'ın mühendislik özellikleri üzerine etkisini inceledikleri çalışmada, kireçtaşı tozu harçların viskozitelerini arttırmış fakat kendiliğinden yerleşebilirlik özelliklerini değiştirmemiştir. Kireçtaşı tozu %10 oranında kullanıldığında hem eğilmede çekme hem de basınç dayanımını erken yaşlar için arttırmış fakat daha sonra etkili olmamıştır.

Ayrıca bu çalışmada durabilite özelliklerinden biri olan karbonatlaşmada incelenmiştir:

Yapı malzemelerinin ve yapıların işlevlerini servis ömürleri boyunca bozulmadan yerine getirmelerine durabilite, dayanıklılık ya da kalıcılık denir (Baradan ve ark.,2010).

1970'li yılların ortalarına kadar betornarme yapıların çok dayanıklı, uzun ömürlü bir yapı türü olduğu düşünülürdü. Bu düşünce betonun zamanla dayanımının artmasına ve çeliğin beton pas payı tabakası tarafından korozyona karşı korunmasıyla açıklanabilir. Son 20-30 yıla kadar betonarme yapıların kalıcılığı konusunda yeterli bilgi olmadığından yalnızca dayanım göz önüne alınarak üretilen değişik sanat yapılarının bilgi eksikliği ve uygulama hatalarından dolayı önemli hasarlar gördüğü tespit edilmiştir (Silver ve ark.,2012). Avrupa'da özellikle II.Dünya savaşından sonra yapılan çok sayıda sanat yapısı, ABD'de çok sayıda köprü önemli durabilite sorunları yaşamış ve yaşamaktadır. Ülkemizde ise özellikle Marmara

depreminden sonra göçen bir çok binada donatıların korozyon nedeniyle neredeyse sadece izlerinin kaldığı gözlenmiştir (Brueckner, 2007).

Web of Science verilerine göre, 1980 yılından sonra günümüze kadar yapılan çalışmalarda anahtar sözcük olarak 'Beton' ve 'Durabilite' kullanılarak değerlendirildiğinde beton konusunda yapılan araştırmaların %5'lik bir kısmının durabilite ile ilgili olduğu görülmüştür.

Esas olarak bir yapının farklı elemanları farklı çevresel etkilere maruz kalır. Yapının iç kısmındaki betonarme elemanlar genellikle kuru ortam koşullarına maruz olup, dışardan fiziksel ve kimyasal bir etkiye açık değildir. Bununla birlikte, yapının dış kısmındaki betonarme elemanlar bu tür etkilere her zaman maruz kalabilir. Ancak bir yapının ortam koşullarına açık betonarme elemanlarını farklı bir betonla üretmek pratikte mümkün değildir ve böyle bir uygulama anlamlıda değildir (TS EN206-1, TS13515).

Karbonatlaşma; havada serbest halde bulunan karbondioksitin nemli ortamda hidrate olmuş çimento ile reaksiyona girmesidir. Havadaki CO_2 beton içerisinde bulunan kalsiyum hidroksit [$Ca(OH)_2$] ile reaksiyona girerek karbonatları [$CaCO_3$] oluşturur.

$$Ca(OH)_2 + CO_2 \Longrightarrow CaCO_3 + H_2O$$

Bu reaksiyon betondaki pH seviyesini başlangıçta 12-13 iken reaksiyon sonucunda 9'a kadar düşürür. Karbonatlaşmanın gerçekleşebilmesi için ortamda bir miktar nemin bulunması gerekir (TS 4834, 1986; Ceukelairee ve Nieuwenburg, 1992).

Karbonatlaşma hızını S/Ç oranı, kür koşulları, çimento tipi, kimyasal bileşimi ve miktarı gibi bir çok faktör etkiler. Temiz havada yaklaşık olarak %0.03 CO_2 bulunur. Büyük şehirlerde bu oran %0.3 civarındadır. Ancak çok ender durumlarda %1 CO_2konsantrasyonuna da rastlanır. Ortamın CO_2konsantrasyonu yükseldikçe

karbonatlaşma doğal olarak daha hızlı meydana gelir. Yapılan ölçümler basınç dayanımı 30MPa'ın altındaki betonlarda 15 mm'lik karbonatlaşma miktarına bir kaç yılda ulaşılacağını ortaya koymaktadır (Akman, 2002).

Karbonatlaşma genellikle yavaş bir işlemdir. Yüksek kaliteli betonda bu karbonatlaşma işlemi tahminen her yıl 1 mm kadardır. Karbonatlaşma miktarı Su/Çimento oranı yüksek, çimento içeriği düşük, kür periyodu kısa, düşük dayanımlı, yüksek geçirimli ya da gözenekli çimento hamurunda ciddi miktarda daha yüksektir. Ayrıca karbonatlaşma yüksek oranda betondaki bağıl neme bağlıdır. Nemin %50-%75 arasında olduğu durumda karbonatlaşma oranı maksimuma ulaşır. %25 bağıl nemin altında karbonatlaşma önemsiz kabul edilir. %75 bağıl nemin üzerinde ise gözeneklerdeki nem, CO_2 nüfuzunu engeller. Yağmura maruz kalan, gün ışığı almayan cephelerde ve az betonla kaplanmış donatı çeliğinde genellikle karbonasyon kaynaklı korozyon meydana gelir. Karbonatlaşmadaki en büyük problem betonarme sistemlerde donatı korozyonudur. Başlangıçta çeliği koruyan pasif film tabakası karbonatlaşma sonucu parçalanır ve çelikte korozyon başlatır (Loo ve ark.,1994).

Khan ve ark. (2002) yüksek performanslı betonu geliştirmek için yaptıkları çalışmada ikili ve üçlü katkılı çimento sistemlerinin etkisini incelemek için Portland çimentosu (PÇ) yerine uçucu kül (UK) ve silis dumanı (SD) ile değiştirmiş ve sonucunda SD kullanımından dolayı erken yaşta mukavemetin arttığı ancak %30 ve üzeri UK içeren numunelerin mukavemet değerlerinin sadece PÇ'su içeren numunelere göre düşük olduğu görülmüştür. %10'a kadar SDiçeren numunelerin oksijen geçirimliliğinde ciddi bir azalma gözlemlenmiş, optimum mukavemet ve gaz geçirimlilik değerlerinin %8-12 arasında SD kullanılması ile elde edilmiştir.

Lo ve ark.(2008) yaptıkları araştırmada 3 farklı bağlayıcı oranına sahip ve iki farklı sıcaklıkta küre maruz normal ve hafif betonların basınç mukavemeti ve karbonatlaşma derinliklerini kıyaslamış sonuçta, betonun yaşı ile paralel olarak karbonatlaşma derinliğinin arttığı, sıcak küre maruz bırakılan normal beton ve hafif betondaki karbonatlaşma derinliğinin normal küre maruz bırakılana oranla daha yüksek olduğu görülmüştür.

Valcuende ve ark.(2010), kendiliğinden yerleşen ve normal betonda karbonatlaşma derinliğini ve mikro yapılarını inceledikleri çalışmada, kullanılan kireçtaşı tozu agrega-çimento arayüzeyinin kompaktlığını arttırırken, porozitenin azaldığı gözlemlenmiş ayrıca KYB'nun karbonatlaşma derinliğinin normal betonun karbonatlaşma derinliğinden daha düşük olduğu görülmüştür.

Kim ve ark. (2007) yüksek mukavemetli betonun mekanik ve dayanıklılık özelliklerini belirlemek ve kıyaslamak amacıyla metakaolin (MK) ve silis dumanı (SD) içeren numuneler üreterek yaptıkları çalışmada, en uygun mukavemet değerlerinin hem MK hem de SD için %10-15 oranları arasında elde edildiği görülmüş ve ayrıca mineral katkı miktarı arttıkça karbonatlaşma derinliğinin de arttığı gözlemlenmiştir.

Siddique (2010), KYB'nun reolojik, mekanik ve dayanıklılık özellikleri üzerine yaptığı çalışmada, %15 ile %35 oranında uçucu kül (UK) içeren 5 farklı beton karışımı üretmiş ve sonucunda, maksimum karbonatlaşma derinliğinin 90 günde 1.67 mm ve 365 günde ise 1.85 mm olduğunu (%20 UK içeren betonlarda) buna bağlı olarak karbonatlaşma derinliğinin beton yaşının artması ile arttığı gözlemlenmiştir.

Karataş ve ark. (2011), KYB'da silis dumanı (SD) ikamesiyle kılcal su emme ve karbonatlaşma özelliklerine etkisini incelemiş ve tüm hızlandırılmış karbonatlaşma periyotlarında normal betonun karbonatlaşma katsayısı KYB'ların karbonatlaşma katsayılarından daha yüksek olduğu SD oranının artmasıyla karbonatlaşma katsayısında da artma görüldüğü SD dozajının KYB'ların karbonatlaşma katsayısı üzerindeki etkisinin önemsiz bir düzeyde kaldığı tespit edilmiş ayrıca SD içeren KYB numunelerinin basınç dayanımlarının artması ile karbonatlaşma katsayılarının azaldığı görülmüştür.

Baradan ve Aydın (2013), yaptıkları çalışmada betonun durabilitesini incelemiş ve sonuçta, yapının servis ömrü boyunca işlevselliğini koruyabilmesi, maruz kalacağı yıpratıcı etkilerin türünün ve şiddetinin tasarım aşamasında belirlenmesi ve gerekli önlemlerin alınmasıyla mümkün olduğu, yapının birden fazla etkiye aynı anda ve

tekrarlı olarak maruz kalmasının olası olduğu ve tüm bu etkilerin bir arada değerlendirilmesi gerektiği, alınacak önlemlerin yıpratıcı etkinin türüne ve şiddetine göre farklılık gösterebileceği ancak genel olarak betonun veya betonarmenin dayanıklılığının sağlanmasında temel felsefe, kaliteli ve geçirimsiz beton kullanılmasıdır. Bir yapının bazı kısımları herhangi bir çevresel etkiye maruz kalmayabilmektedir. Ancak yapının dış kısımlarına bakan betonarme elemanlarında karbonatlaşma tehlikesinin her zaman mevcut olacağını belirtmişlerdir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Çimento

Tez içeriğinde yapılan tüm deneysel işlemlerde özgül ağırlığı 3,11 g/cm^3 olan CEM-I 42.5N tipi Portland çimentosu kullanılmıştır. Çimentoya ait kimyasal özellikler Çizelge3.1.'de sunulmuştur.

Çizelge 3.1. Çimento kimyasal kompozisyonları

Malzeme Kompozisyonu	Çimento
CaO (%)	63.83
SiO_2 (%)	20.22
Al_2O_3 (%)	4.82
Fe_2O_3 (%)	3.32
MgO (%)	1.90
SO_3 (%)	2.38
K_2O (%)	-
Na_2O (%)	-
Kızdırma Kaybı (%)	2.10

3.1.2. Mineral katkılar

Bu çalışmada Şanlıurfa yöresinde rezervi yüksek olan, taş ocaklarından alınan kireçtaşı, öğütülüp toz haline getirilerek 0,125 mm^2'lik göz açıklıklı elekten elenerek, elekten geçen kısmı kullanılmıştır.Kullanılan kireçtaşı tozunun özgül ağırlığı 2,31 gr/cm^3 olup, kireçtaşı tozu karışımlarda çimento yerine %15, %25, %35 oranlarında yer değiştirilerek kullanılmıştır.Kullanılan KTT'na ait fiziksel ve kimyasalözellikler Çizelge3.2.'de verilmektedir.

Çizelge 3.2. Kireçtaşıtozununkimyasal kompozisyonu

Malzeme Kompozisyonu	KTT (%)
CaO (%)	54.69
SiO_2 (%)	0.5
Al_2O_3 (%)	0.29
Fe_2O_3 (%)	0.20
MgO (%)	0.44
SO_3 (%)	-
K_2O (%)	-
Na_2O (%)	-
Kızdırma Kaybı (%)	-
Özgül Ağırlık (g/cm^3)	2,31

3.1.3. Agrega

Yapılan çalışmada KYH için maksimumtane çapı 2 mm olan ince agrega kullanılmıştır. Kullanılan agreganın doygun kuru yüzey tane yoğunluğu 2,67 gr/cm^3, su emmesi %1,67'dir.

3.1.4. Kimyasal katkı

KYH karışımlarının işlenebilirliğini arttırmak için BASF yapı kimyasalları tarafından üretilmekte olan polikarboksilik eter esaslı, yüksek oranda su azaltan süperakışkanlaştırıcı (SA) 'GLENİUM 27' katkı kullanılmıştır. Yapılan deneylerde kullanılan süperakışkanlaştırıcının özgül ağırlığı yaklaşık 1,05 olup sıvı halde bir kimyasal katkıdır.

3.2. Deneysel Çalışma

3.2.1. Karışımların hazırlanması

Bu çalışmada KYH'ın üretiminde kullandığımız KTT'nun fiziksel özellikleri belirlendikten sonra numuneler hazırlanmaya başlanmıştır. Hazırlanan numunelerde su/toz oranı 0,46 civarında sabit tutulup harç kıvamları süperakışkanlaştırıcı (SA) miktarları değiştirilerek ayarlanmıştır. Hiç KTT içermeyen harç karışımı kontrol karışımı olarak ve KTT%0 ile gösterilmiştir. KYH için kullanılacak olan çimento ağırlıkça %15 oranında azaltılarak yerine aynı miktarda KTT eklenmesiyle oluşan harç karışımına KTT%15 ve diğer numunelerde benzer şekilde; KTT%25 ve KTT%35 olarak isimlendirilmişlerdir.Buna göre kontrol karışımı (KTT%0) dahil 4 farklı KYH karışımı hazırlanmıştır. KYH karışımları ASTM C109/C 109M-01'euygun bir mikser(Şekil 3.1)kullanılarak üretilmiştir. Çimento, KTT ve su önce düşük devirde karıştırılmış daha sonra ince agraga yavaş yavaş eklenerek karıştırılmaya devam edilmiş ve sonunda yüksek devirde 90 saniye daha karıştırılarak tamamlanmıştır.Hazırlanan bu 4 farklı KYH karışımının karışım oranları Çizelge3.3.'te verilmiştir.



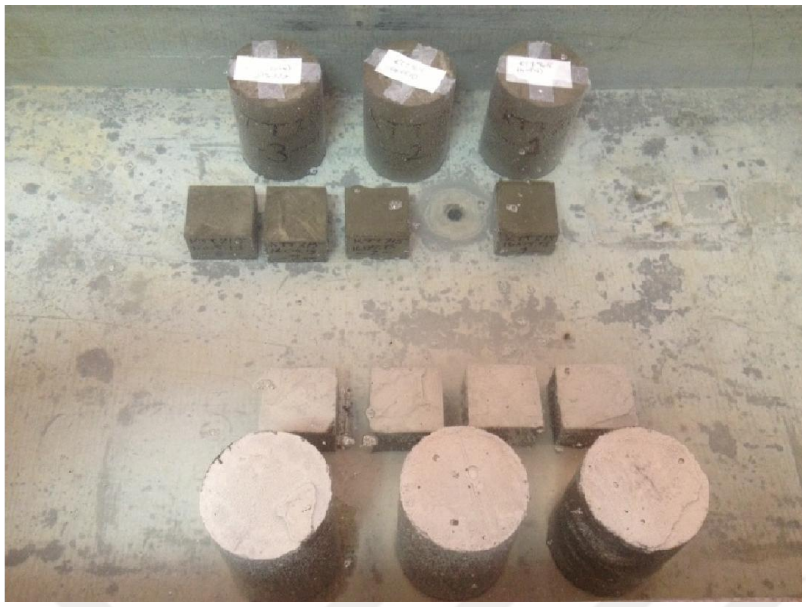
Şekil 3. 1. Karışımların hazırlanmasında kullanılan mikser

Çizelge 3.3. Karışım kompozisyonları (gr/cm^3)

Karışım Kodu	Miktar				
	Çimento (Ç)	Kireçtaşı Tozu (KTT)	Kum (S)	Su	SA
KTT %0	630	0	1253	302	3,9
KTT %15	535,5	94,5	1253	302	3,4
KTT %25	472,5	157,5	1262	295	2,5
KTT %35	409,5	220,5	1278	285	2,8

Bu yöntemle 4 farklı KYH karışımı üretilmiş ve bu karışımlar üzerinden yapılan deneysel çalışmalar 2 aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk aşamasında harç karışımlarının taze haldeki özelliklerini belirlemek amacıyla mini çökme-yayılma, mini V-hunisi ve viskozite ölçüm sonuçları alınmıştır. İkinci aşamada ise KYH'ların sertleşmiş halleri için ultra ses-hızı, yarmada-çekme, basınç ve durabilite özellikleri olan kapiler su emme ve karbonatlaşma deneyleri yapılarak sonuçları elde edilmiştir.

KYH numunelerinin her bir karışım oranı için 3, 28 ve 56 günlük basınç dayanımı için her yaşta 3 adet numune kullanılmak üzere toplam 36 adet 50x50x50 mm boyutlarında küp numunesi, yarmada-çekme dayanımı için 3, 28 ve 56 günlük her yaşta 3 adet numune kullanılmak üzere toplam 36 adet 75x150 mm boyutlarında silindir numunesi hazırlanmıştır.Ayrıca 28 gün kür edildikten sonra 7, 15 ve 30 günlük sürelerde karbonatlaşma testi yapılan her gün için 3 adet numune olmak üzere toplam 36 adet 100x100x100 mm boyutlarında küp numuneler hazırlanmıştır. Çalışmada kullanılan deney numuneleri bir kür tankında23±2°C'de kür edilmiştir(Şekil 3.2.).Kür sonrasında tüm deney numuneleri 100±5°C sıcaklıkta 24 saat etüvde bekletilmiştir (Şekil 3.3.).



Şekil 3. 2. KTT numunelerinin kür havuzunda kür edilmesi



Şekil 3. 3. KTT numunelerinin etüv durumu

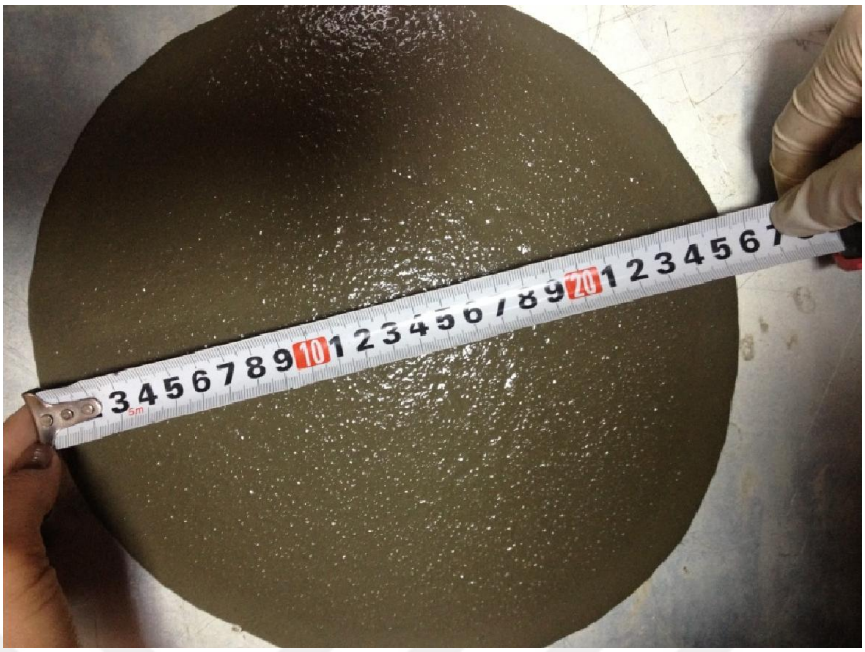
3.2.2. Taze hal özellikleri

Hazırlanan deney karışımlarının reolojisi ve viskozitesi mini çökme-yayılma, mini V-hunisi akma zamanı ve rotasyonel viskozimetre tayini değerlendirilirken, EFNARC (2002)'de belirtilen taze halde harç karışımlarının uygunluğu mini çökme-yayılma ve mini V-hunisi deneyleri için dikkate alınmıştır. KYH'ları etkileyen en

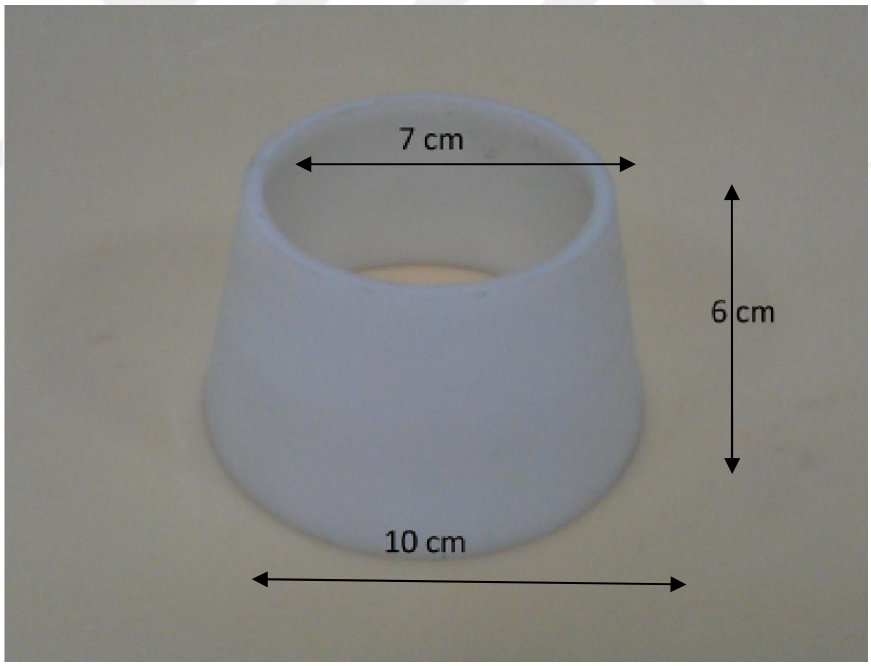
önemli faktörlerden birisi de taze özellikleridir (akma dayanımı, işlenebilirliği, plastik viskozite vb.). KTT ile hazırlanan KYH karışımlarının, geleneksel harçlara göre daha küçük agrega boyutlarına sahip olup çok dar kesitlerin bile kolaylıkla doldurulmasını sağlar. Ayrıca taze özelliklerharçların akışkanlığını ve kalıba ne derecede kolay yerleştirilebildiğini etkilemektedir. KYH karışımlarının taze haldeki işlenebilirlik ve reolojik özelliklerini belirlemek için mini çökme-yayılma testi, mini V-hunisi testi ve rotasyonel viskozimetre deneyi yapılmıştır.

3.2.2.1. Mini çökme-yayılma deneyi

Tüm karışımlardaki çökme-yayılma değerleri, EFNARC (2002)'de önerilen mini çökme-yayılma deneyinden faydalanılarak çökme-yayılma çapının 240-260 mm arasında olacak şekilde ayarlanmıştır(Şekil 3.4.). Bunun önerilen değerlerde olması, numunelerde kullanılan süperakışkanlaştırıcı (SA) miktarı ile sağlanmıştır. Bu deneyde kesik koni şeklinde mini çökme-yayılma aparatıkullanılmıştır. Kullanılan aparatın üst çapı 70 mm, alt çapı 100 mm ve yüksekliği 60 mmboyutlarındadır (Şekil 3.5.). Harçlar mikserde karıştırıldıktan sonra herhangi bir sıkıştırma işlemi uygulanmadan, düz bir zemin üzerine yerleştirilen bu kesik koni içine konur ve ardından koni yukarıya doğru dik bir şekilde yavaş yavaş kaldırılır ve malzeme yayılmaya başlar. Malzemenin yayılması tamamlandığında, yaklaşık olarak dairesel bir şekil ortaya çıkar. Daha sonra bu harcın çapı, birbirine dik olan iki yönde ölçülüp elde edilen değerlerin ortalaması sonucu son çap olarak kaydedilir. Böylece "mini çökme-yayılma çapı" bulunur.



Şekil 3. 4.Mini çökme-yayılma testi



Şekil 3. 5. Mini çökme-yayılma test aparatı

3.2.2.2. Mini V -hunisi deneyi

Yapılan çalışmada KYH için mini V-hunisi deneyi EFNARC (2002)'de tanımlandığı şekilde yapılmıştır. Bu deneyde alt kapak kapalıyken mini V-hunisi test

aparatı tamamen harç ile doldurulur daha sonra alttaki kapak açılarak huni içerisindeki harcın akmasına izin verilir. Harcın akış zamanı tabanındaki kapağın açılmasıyla yukarıdan bakıldığında alt tabanda ışığın görülmesine kadar arada geçen zamandır (Şekil 3.6.). Mini V-hunisi deneyi akma zamanı EFNARC (2002)'ye göre 7 – 11 saniye arasında kalması gerekir.



Şekil 3. 6. MiniV-hunisi deney aparatı

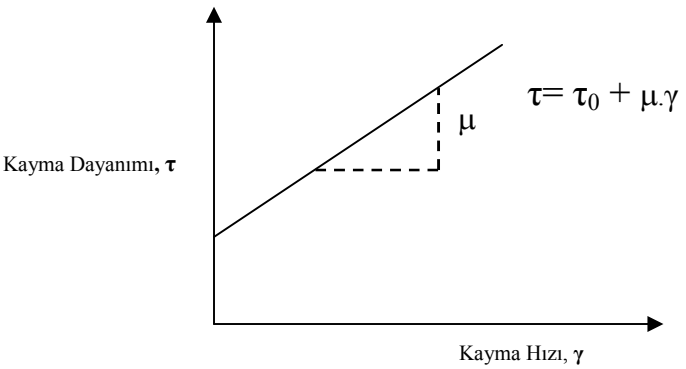
3.2.2.3. Rotasyonel viskozimetre testi

KYH karışımlarının reolojik parametrelerinin (eşik gerilmesi ve plastik viskozite) ölçülmesi için rotasyonel bir viskozimetre kullanılmıştır(Şekil 3.7.).Harç karıştırıldıktan hemen sonra; t=0, 20 dakika sonra; t=20, 40 dakika sonra; t=40 için numuneler ölçme kabına konduktan sonra, viskozimetrenin ölçüm yapan ucu numune içine bırakılır. Devamında açısal hız0.5 devir/dakika değerinden 100 devir/dakika değerine yavaş yavaş çıkarılmıştır. Sonrahız, 100 devir/dakika'dan, 0.5devir/dakika değerine aynı şekilde yavaş yavaş azaltılmış ve her basamakta ölçümler alınmıştır. Bu basamaklar şu hızlarda olmuştur: 100 devir/dakika, 50 devir/dakika, 20 devir/dakika, 10 devir/dakika, 5 devir/dakika, 2.5devir/dakika, 1 devir/dakika ve 0.5 devir/dakika.

Numunelerin t=0, t=20 ve t=40 zamanlarında belirtilen açısal hızlara tabi tutulup, bu sürelerin sonunda kayma gerilmesi değerleri alınmıştır. Böylece elde edilen kayma hızı-kayma gerilmesi veri çiftlerini bir grafikte noktalar halinde çizmiş ve bu noktalara doğrusal eğilim çizgisi yerleştirilmiştir. Bilindiği üzere doğrusal eğilim çizgisi Bingham modelini meydana getirmektedir (Şekil 3.8.). Aynı zamanda bu çizginin eğimi plastik viskoziteyi, çizginin kayma eksenini kestiği nokta ise eşik gerilmesini (akma gerilmesini) vermektedir.



Şekil 3. 7. Rotasyonel viskozimetre cihazı



Şekil 3. 8. Akışkanlar için Bingham Modeli

3.2.3. Sertleşmiş hal özellikleri

KYH karışımlarının sertleşmiş durumdaki özelliklerinin belirlenmesi için hazırlanan harçlar vibrasyon olmaksızın kalıplara dökülmüştür. 75x150 mm ölçülerindeki silindir numunelere 3, 28 ve 56 gün kür uygulandıktan sonra kapiler su emme, ultra ses-hızı ve yarmada çekme testleri yapılmıştır. 50x50x50 mm olan küp numunelere 3, 28 ve 56 günlük kür sonrası basınç testi ve 100x100x100 mm'lik küp numunelere ise 28 günlük kür sonunda karbonatlaşma deneyi yapılmıştır.

3.2.3.1. Ultra ses – hızı deneyi

Yapılan çalışmada Ultra ses-hızı deneyi 3, 28 ve 56 günlük 75x150 mm'lik silindir numunelere yapılmıştır. Sertleşmiş numunelerin dayanımının ölçülmesinde kullanılan bu yöntem numunelerin ultrases dalga hızını ölçmektedir. Cihazın (Şekil 3.9.) kendisiningönderdiği düşük frekanslı ultrasonik sinyaller numune içerisinden geçerek her iki uçta bulunan transduserler ile algılanır ve ultrasonik sinyallerin numuneler içerisinden geçiş süreleri belirlenmiş olur. İşte bu geçiş süreside numunenin kalitesini gösterir. Ultra ses-hızı tayini, verilen eşitlik ile hesaplanır (3.1).

$$V=L/U \qquad (3.1)$$

Burada;
V: Ultra ses-hızı (km/sn)
L:Geçiş uzunluğu (mm)
U:Geçiş zamanı (µsn)



Şekil 3. 9. Ultra ses-hızı test cihazı

3.2.3.2. Yarmada çekme dayanımı deneyi

Yarmada çekme dayanımı deneyi ASTM C496 standartlarına göre yapılmıştır. Bu standarda uygun olarak 3, 28 ve 56 günlük 75x150 mm'lik silindir numunelere yarmada çekme dayanımı testi uygulanmıştır. Yarmada çekme dayanımları aşağıdaki eşitlikle tespit edilmiştir (3.2).

$$f_{ct}=2xF/(\pi xLxd) \quad (3.2)$$

Burada;

f_{ct}: Yarmada çekme dayanımı (MPa)

F: En büyük yük (N)

L: Numunenin yüklenen parçasının temas ettiği çizgi uzunluğu (mm)

d: Numunenin en kesit boyu (mm)

3.2.3.3. Basınç dayanımı deneyi

Yapılan basınç dayanımı deneyleri numunelerin zamanla göstereceği dayanım artışlarını görmek için3, 28 ve 56 günlük 50x50x50 mm küp olan numunelere (Şekil 3.10.a.) ASTM C39 standartında göre uygulanmıştır.Önce numune temizlenerek Şekil 3.10.b.'deki cihazla basınç testi uygulanmıştır. Numunelerin basınç dayanımı değerleri de 3.3'de verilen eşitlikle belirlenmiştir.

$$f_c=F/A_c \qquad (3.3)$$

Burada;

f_c: Basınç dayanımı (MPa)

F: Kırılma anında ulaşılan en büyük yük (N)

A_c: Numunenin üzerine basınç yükünün uygulandığı en kesit alanı (mm^2)



a) b)

Şekil 3. 10. Basınç dayanımı a) Küp numuneleri ve b) Test cihazı

3.2.4. Durabilite özellikleri

3.2.4.1. Kapiler su emme deneyi

KYH numunelerinin kapiler su emme durumlarının belirlenmesi 75x150 mm boyutlarındaki silindir numuneler üzerinde yapılmıştır. Numuneler önce 28 gün23±2°C'de suda kür edilmiştir (Şekil 3.11.). Daha sonra numuneler 24 saat 100 ±

5°C'de etüvde fırın kurusu hale getirilmiştir. Numunelerin fırın kurusu ağırlıkları belirlendikten sonra her bir KYH numunesi için numunelerin alt yüzeyleri su ile temas edeceğinden sadece yan yüzeyleri su geçirmez bant ile kaplanmıştır (Şekil 3.12.). Numuneler su geçirmez bant ile kaplandıktan sonraki ağırlıkları tekrar belirlenmiş ve sonra su yüksekliği yaklaşık olarak 5 mm olan bir düzeneğe yerleştirilmişlerdir.Kapiler su emmeye maruz bırakılan KYH numunelerinin 5, 10, 30, 60, 240 ve 1440. dakikadaki ağırlıkları ölçülmüştür. Numunelerden alınan değerlerden her dakika için su emme miktarları (Q) hesaplanmıştır. Emilen su miktarının numunenin su ile temas ettiği yüzey alanına oranıyla (Q/A) geçen zamanın (t) karekökü arasındaki lineer bir ilişki elde edilen eğim KYH numunelerinin kapiler su emme katsayıları olarak dikkate alınmıştır (3.4).

$$Q/A=K.\sqrt{t} \qquad (3.4)$$

Burada;

Q: Emilen su miktarı (cm^3)

A: Su ile temas eden yüzey alan (cm^2)

K: Kapilarite katsayısı (cm^2/sn)

t: Geçen zaman (sn)



Şekil 3. 11. KYH numunelerinin etüv durumu



Şekil 3. 12. Kapiler Su Emme deney düzeneği

3.2.4.2 Karbonatlaşma deneyi

Bu test için 28 gün kür sonrasında 24 saat 100 ± 5°C'de etüvde bekletilen 100x100x100 mm'lik küp numunelere 7, 15 ve 30 gün boyunca hızlandırılmış karbonatlaşmaya maruz bırakılmıştır. Hızlandırılmış karbonatlaşma deneyinde test sonuçlarının daha net alınabilmesi için ortam koşulları maksimum karbonatlaşmayı verecek şekilde ayarlanmıştır. Bu koşullardan birincisi sıcaklık faktörüdür. Sıcaklığın artışıyla karbonatlaşma hızının arttığı fakat aşırı artışın ortam nemini azaltarak karbonatlaşmayı yavaşlattığı göz önünde bulundurularak yapılan deney için ortam sıcaklığı 20°C civarında tutulmuştur (Akman, 1997).

Bununla beraber karbonatlaşma hızına etki eden bir diğer faktör ise nemdir. Bu sebeple karbonatlaşma reaksiyonunun en hızlı olduğu %55 bağıl nem seviyesi sabit tutulmaya çalışılmıştır (RILEM, 1988; Remazanianpour ve ark., 1987).

Bağıl nemin %55 seviyesinde tutulabilmesi için doymuş Sodyum Dikromat çözeltisi hazırlanmış ve karbonatlaşma deney tankının (Şekil 3.13.) içerisine yerleştirilerek deney süresince ortam sıcaklığının 20°C'de kalması sağlanmıştır. Numuneler tanka yerleştirilmeden önce deney tankına sızdırmazlık testi yapılmış ve

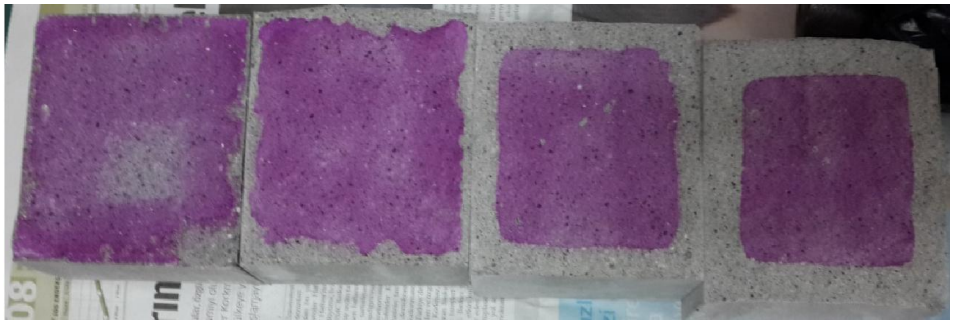
tankın sızdırmazlığından emin olunmuştur. Daha sonra numuneler tank içine yerleştirilip tankın kapağı sıkıca kapatılmış ve tanka %50 oranında (1bar) CO_2 gazı verilmiştir.



Şekil 3. 13. Karbonatlaşma deney tankı

7, 15 ve 30 günlük hızlandırılmış karbonatlaşma deney süreleri sonunda tanktan çıkarılan numuneler pres cihazı ile ortadan ikiye ayrılarak kırılan kesit yüzeylerine fenolfitalein çözeltisi püskürtülerek karbonatlaşma derinlikleri belirlenmiştir. Harran Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği bölümünde %1 fenolfitalein ve %70 etil alkol ile hazırlanan fenolfitalein indikatörü püskürtüldüğü yüzeyde pH seviyesine bağlı olarak renk değişimi göstermiştir (RILEM, 1988.). Burada pH seviyesinin 9'un altında olduğu yerlerde renk değişimi

olmamış, 9'un üzerinde olduğu bölgelerde mor renge dönüştüğü görülmüştür (Şekil 3.14.). Karbonatlaşmanın olduğu kısımlar renk değişimine uğramamıştır.



Şekil 3. 14. Karbonatlaşmayı gösteren renk değişimi

Karbonatlaşma derinlikleri her numune yüzeyinde 4 farklı noktadan ölçülerek ortalamaları alınmış ve böylece numunelerin karbonatlaşma derinlikleri belirlenmiştir. Karbonatlaşma derinlikleri aşağıdaki (3.5.) eşitlik kullanılarak belirlenmiştir:

$$D=(A1+A2+A3+A4)/4 \quad (3.5.)$$

Burada;

D:Karbonatlaşma derinliği (mm)

$A_{1,2,3,4}$:Dört kenardaki karbonatlaşma derinlikleri (mm)

Bununla beraber numuneler karbonatlaşma deneyinde tanka yerleştirilmeden hemen önce ve deney süreleri sonunda, tanktan çıkarıldıktan hemen sonra 0,01 gram hassasiyette bir terazi ile tartılmış ve numunelerin ağırlıklarındaki farklılıklarda kaydedilmiştir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

4.1.Taze Özellikler

4.1.1. Mini çökme – yayılma

EFNARC (2002)'a göre taze haldeki harcın mini çökme-yayılma çapının 240-260 mm arasında olması gerekmektedir. Deney sonunda elde edilen veriler aşağıdaki bağıl çökme-yayılma formülüyle (4.1) belirlenmiştir;

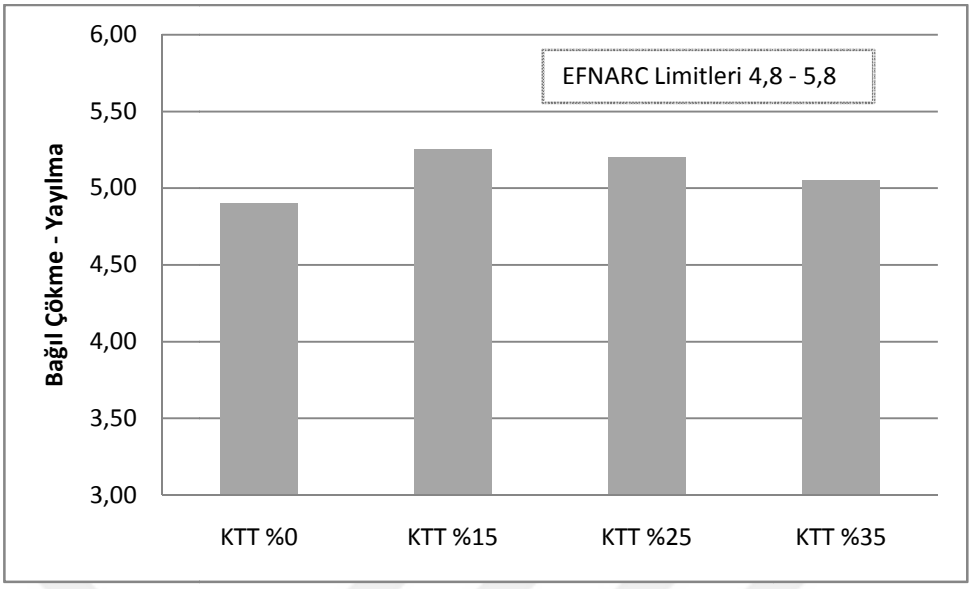
$$\Gamma_m = \left(\frac{d}{d_0}\right)^2 - 1 \qquad (4.1)$$

Burada;
d: Ortalama yayılma çapını
d_0: Mini çökme-yayılma konisinin alt çapını (100 mm)
göstermektedir.

Deney sonunda elde edilen mini çökme-yayılma çapları, bağıl çökme-yayılma değerleri ve V-hunisi zaman değerleri Çizelge 4.1'de bütün KYH'lar için verilmiştir. Ayrıca, tüm KYH karışımları için bağıl çökme-yayılma sonuçlarına ait grafik Şekil 4.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. Mini Çökme-Yayılma, V-hunisi test sonuçları

Karışım	Taze Özellikler		
	Mini çökme-yayılma deneyi		Mini V-hunisi deneyi
	d (cm)	γ_m	t (s)
KTT%0	24.30	4.90	4.00
KTT%15	25.00	5.25	3.55
KTT%25	24.90	5.20	3.69
KTT%35	24.70	5.05	3.89



Şekil 4.1. Farklı oranlarda KTT içeren karışımların bağıl çökme-yayılma grafiği

Tablo4.1'de verilen değerlerden çökme-yayılma sonuçlarının EFNARC (2002)'ın önerdiği 24-26 cm arasındaki sınırlar içinde kaldığı görülmektedir. Ayrıca, Şekil 4.1'de görüldüğü gibi KTT'nin çimento ile yerdeğiştirme seviyesindeki artışla birlikte çökme-yayılma değerleri kontrol harcına kıyasla artmaktadır. Bu durumda, karışımın su ve akışkanlaştırıcı ihtiyacında önemli bir azalma görülürken çökme değerlerinde ve KTT'nin çimento ile yerdeğiştirme oranlarındaki artış ile birlikte karışımların taze özelliklerinde tatminkar bir iyileşme görülmektedir (Tsivilis ve ark., 2002).

Ayrıca, bağıl çökme-yayılma değerlerinde, KTT'nin çimento ile %15, %25 ve %35 oranlarında yerdeğiştirme değerleri için %7.14, %6.12 ve %3.06 artış olduğu gözlemlenmiştir. Bu, KTT kullanımındaki artışın KYH'ların stabilitesinde bir artışa neden olduğu anlamına gelmektedir (Vuk ve ark., 2001). Bunun yanında, çimento viskozitesinin azalan çimento içeriğiyle azaldığı ve çimento esaslı malzemelerin taze özelliklerinin doğrudan çimento ve diğer bileşenlerden etkilendiği bilinmektedir (Banfill, 1994; Topcu ve ark., 2009). Çünkü çimento taneleri çimento parçacıkları arasındaki tane çekimini arttırdığı için daha yüksek viskoziteye neden olurken, daha düşük çimento içeriğine sahip olan KYH'lar (KTT ve benzeri mineral ikameli), çökme-yayılma bakımından daha iyi taze özellikler gösterecektir. Dolayısıyla, Şekil

4.1. ve Çizelge 4.1.'de görüldüğü gibi, KTT'deki artış daha yüksek çökme-yayılma değerlerine neden olmuştur. Çimento etkisine ilaveten, özgül yüzey su ihtiyacını etkileyen bir başka parametredir (Bonavetti ve ark., 2000). Deneysel çalışmalarımızda kullanılan çimento ile karşılaştırıldığında, KTT daha düşük özgül yüzey alanına sahip ve bu yüzden artan KTT yerdeğiştirme oranı, daha iri bağlayıcı miktarındaki artıştan dolayı çökme-yayılma değerlerinin artmasına sebep olmuştur. Başka bir deyişle, karışıma bağlayıcı olarak çimento yerine KTT eklenmesi, çimentodan daha büyük tane boyutu sebebiyle, karışımın su ihtiyacında azalmaya neden olmuştur.

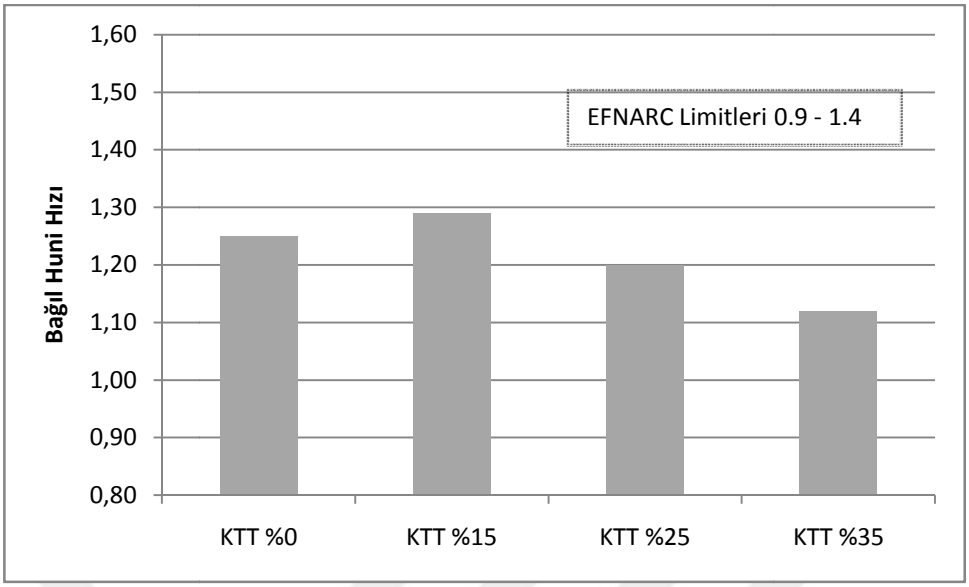
Grafik incelendiğinde, çökme-yayılma sonuçlarının birbirinden çok farklı olmadığı fakat artan KTT'nin işlenebilirliği düşürmeye başladığı görülmüştür. Yine de kullanılan KTT miktarlarıyla alınan sonuçların EFNARC (2002) tarafından belirtilen standartların dışına çıkmadığı görülmüştür.

4.1.2. Mini V-hunisi

Mini V-hunisi deneyinde, mini V-hunisi akma zamanının EFNARC (2002) standardına göre 7-11 saniye arasında olması beklenir. Mini V-hunisi deneyinin bağıl huni hızı aşağıdaki formül ile belirlenmiştir (4.2).

$$R_m = \frac{10}{t} \qquad (4.2)$$

Deney sonuçları (4.2) bağıl formülüyle dönüştürülerek (Şekil 4.2)'de gösterilmiştir.

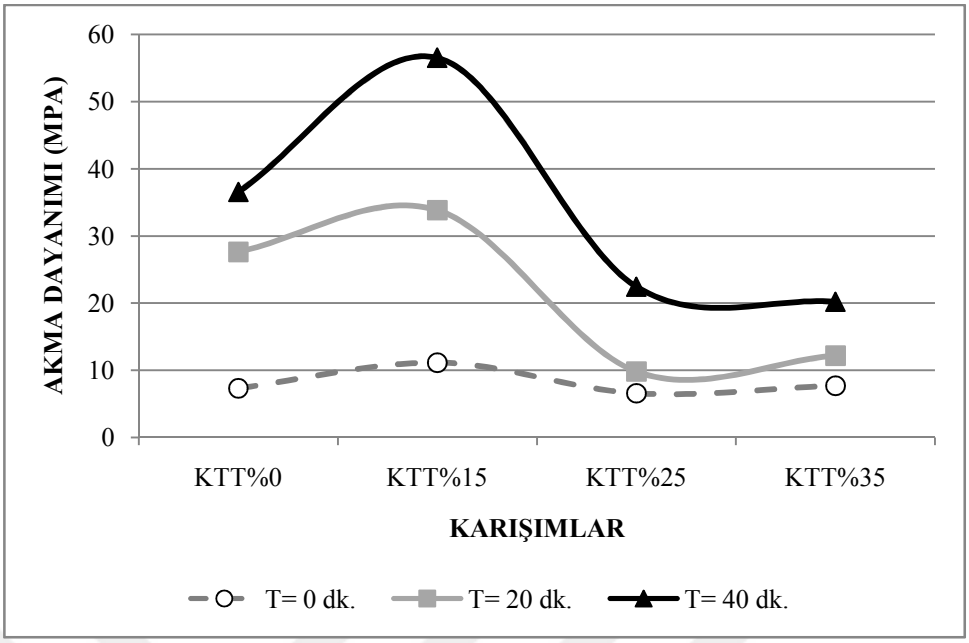


Şekil 4. 2. Farklı oranlarda KTT içeren karışımların bağıl huni hızı grafiği

Şekil 4.2. incelendiğinde, KTT karışımlarının tümü için bağıl V-hunisi sonuçlarının EFNARC (2002) sınır değerleri arasında kaldığı ve karışımların akışkanlıklarının azalmaya başladığı görülmektedir.

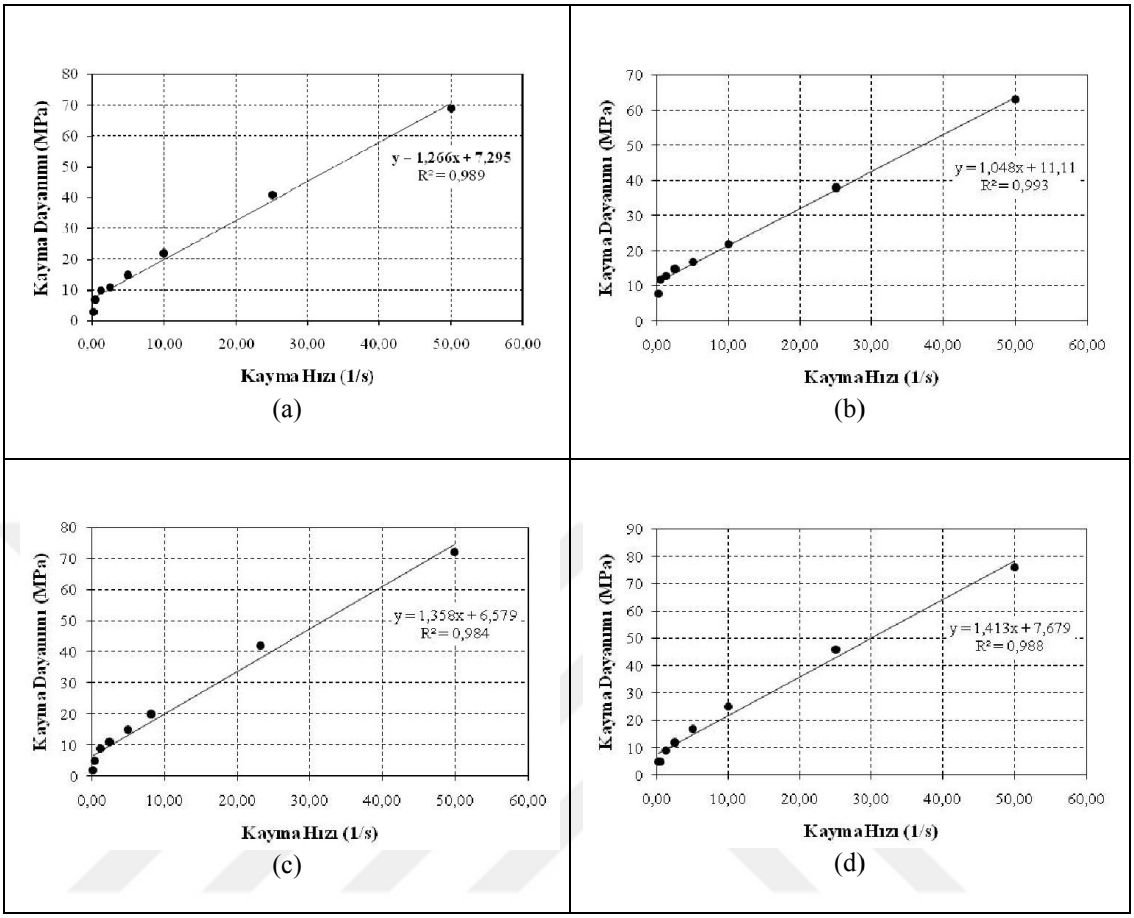
4.1.3. Rotasyonel viskozimetre

Taze haldeki beton karışımlarının kendiliğinden yerleşebilme özelliği viskoziteyle doğrudan alakalıdır. Karışımın doğrudan yerleşebilmesi için optimum viskoziteye ve düşük kayma eşiği gerilmesine sahip olması gerekir. Bu özelliğin belirlenebilmesi için rotasyonel viskozimetre deneyi yapılmıştır. Şekil 4.3'de farklı ölçüm zamanlarında KTT miktarına bağlı olarak akma gerilmesindeki değişim görülmektedir.

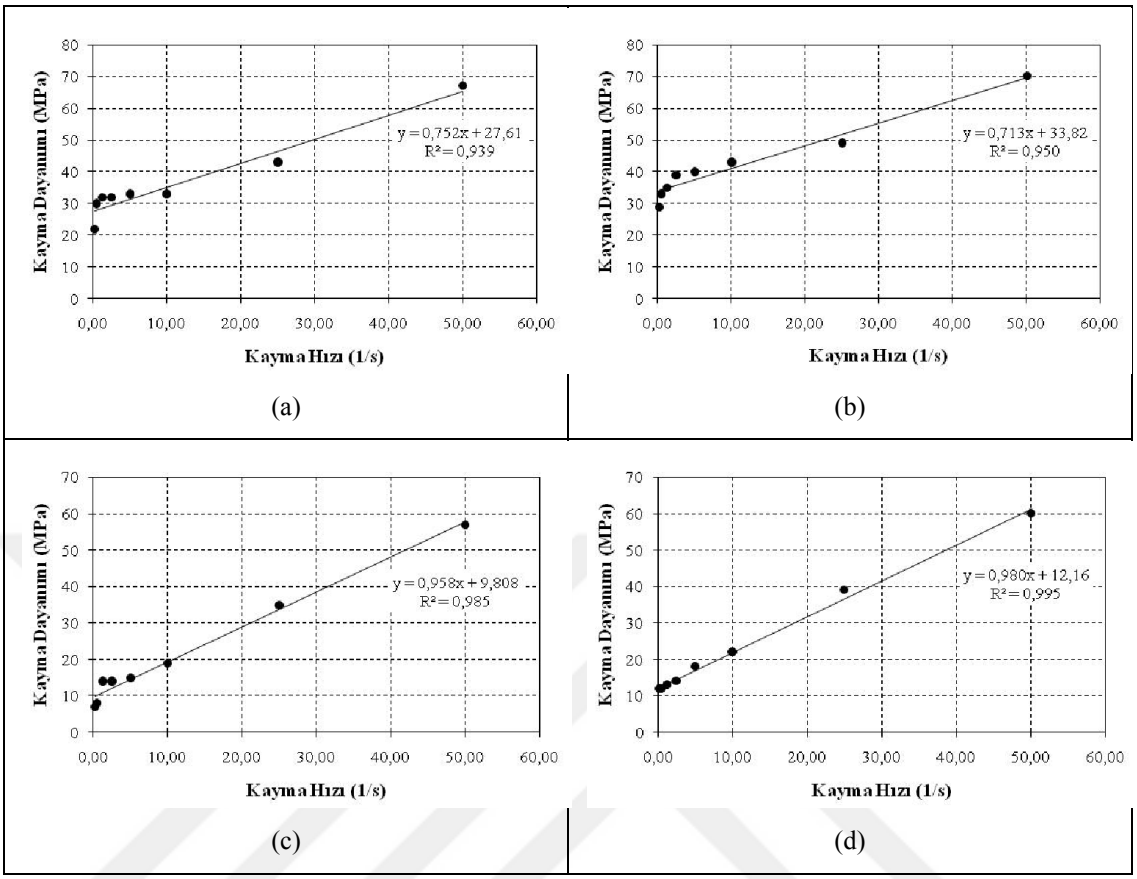


Şekil 4. 3. KTT karışımlarının ölçüm sürelerine göre akma gerilmesi değişimi

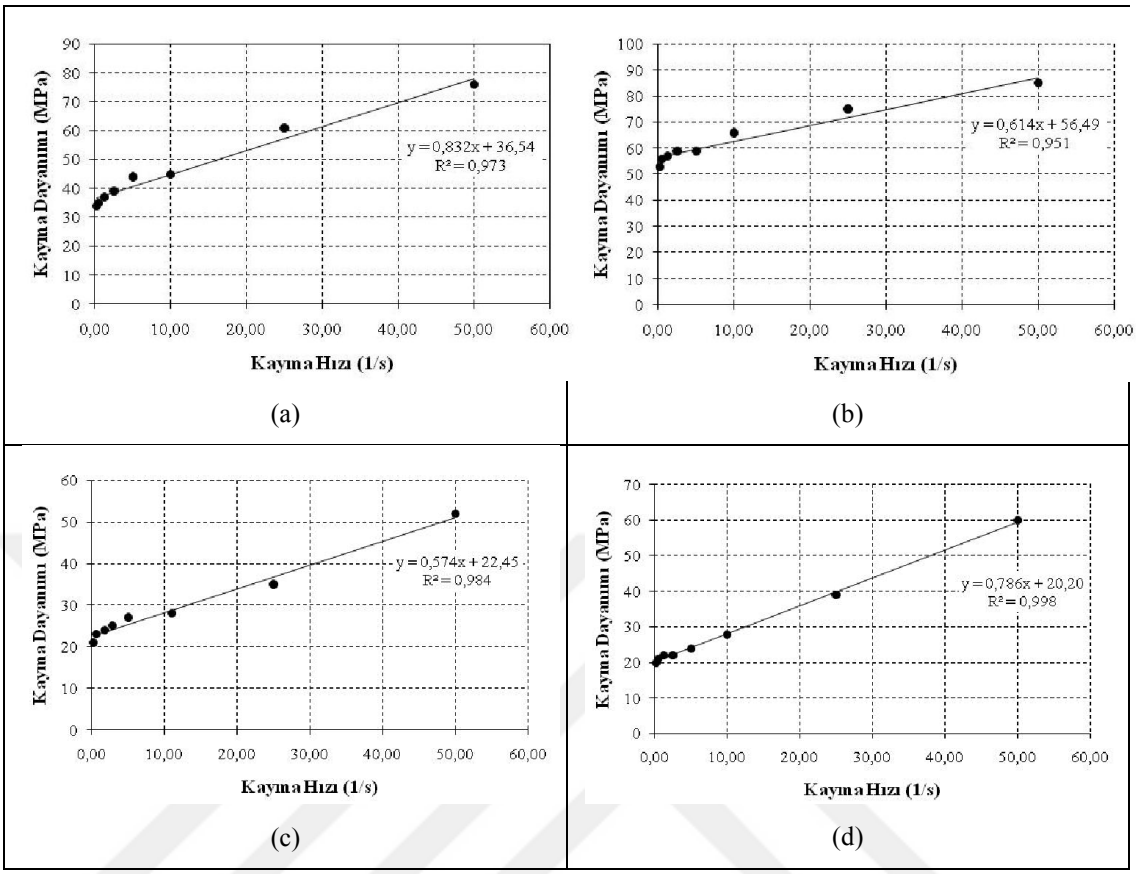
Şekil 4.3'de T=0 için KTT miktarındaki artışın, karışımın akma gerilmesi değerini önemli ölçüde değiştirmediği görülmektedir. T=20 dk ve T=40 dk için %15 oranında KTT kullanılan karışımların akma gerilmesi değerleribelirgin bir şekilde artmıştır.Ancak KTT'nin %25 ve %35 oranlarında kullanımı, akma gerilmesinin düşmesine neden olmaktadır.Hazırlananharç karışımlarına ait kayma gerilmesi ile kayma hızı arasındaki ilişki Şekil 4.4., 4.5., 4.6'da verilmiştir.



Şekil 4.4 Taze harç karışımlarına ait kayma gerilmesi ile kayma hızı arasındaki ilişki (T=0)
a)KTT%0 b)KTT%15 c)KTT%25 d)KTT%35



Şekil 4.5Taze harç karışımlarına ait kayma gerilmesi ile kayma hızı arasındaki ilişki (T=20)
a)KTT%0 b)KTT%15 c)KTT%25 d)KTT%35



Şekil 4.6Taze harç karışımlarına ait kayma gerilmesi ile kayma hızı arasındaki ilişki(T=40)
a)KTT%0 b) KTT%15 c) KTT%25 d) KTT%35

4.2. Sertleşmiş Hal Özellikleri

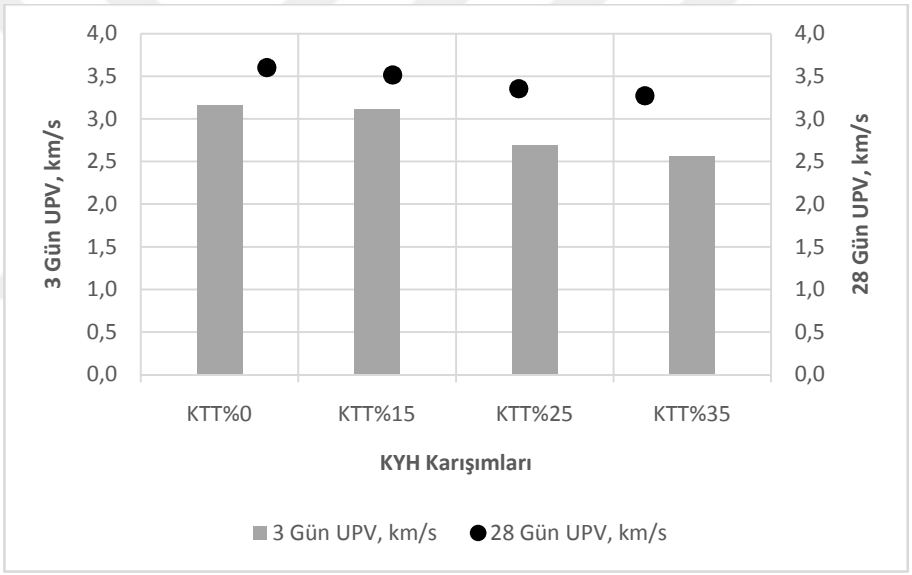
4.2.1. Ultrases geçiş hızı

Ultrases geçiş hızı (UPV), tahribat, hidratasyon reaksiyonları ve çimento esaslı matrisin yapısının performans özelliklerini gösteren bozulma derecesi bakımındanbetonun mekanik ve dayanıklılık özelliklerini belirlemek için yaygın olarak kullanılan tahribatsız tekniklerden biridir (Cosmes-López ve ark., 2017). Başka bir deyişle, UPV tahribatsız yöntemi, çimento esaslı malzemelerin iç mikro-yapısal sağlamlığını mikro-çatlamasını homojenliğini ve doluluğunu ölçme yöntemi olarak kullanılmaktadır (Skaropoulou ve ark., 2013).

KYH numunelerine ait 3, 28 ve 56 günlük UPV test sonuçları Çizelge 4.2. ve Şekil 4.7.'da verilmiştir. Çizelge 4.2.'de görüldüğü gibi, hidratasyon reaksiyonlarının beklenen bir sonucu olarak, beton kür yaşındaki artış, UPV'de artışa neden olmaktadır (Owaid ve ark., 2017; El Mir ve Nehme, 2017).

Çizelge 4.2. UPV test sonuçları

	UPV Değerleri, km/s		
Karışım adı	3 Gün	28 Gün	56 Gün
KTT%0	3.16	3.60	3.78
KTT%15	3.11	3.52	3.56
KTT%25	2.69	3.36	3.41
KTT%35	2.57	3.27	3.29



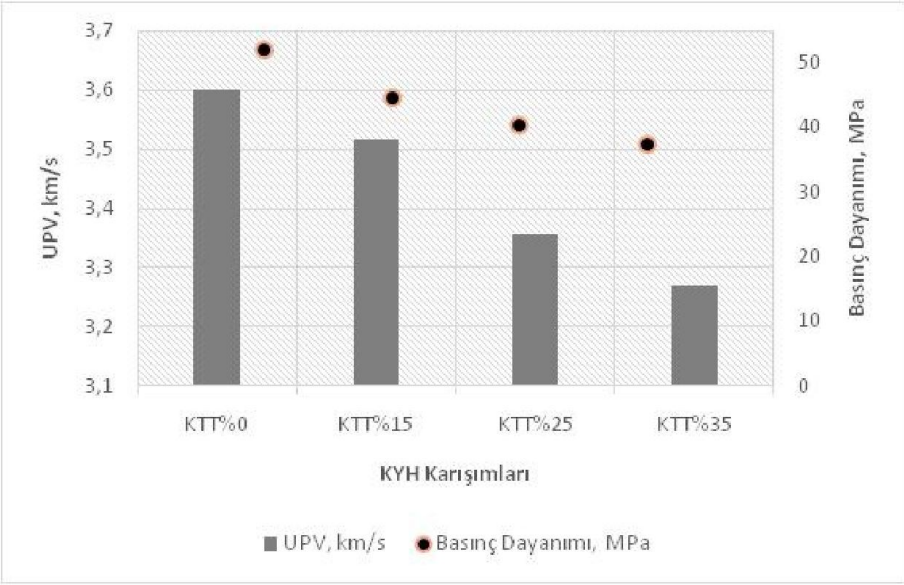
Şekil 4.7. 3 ve 28 günlük UPV değerlerinin karşılaştırılması

Bağlayıcı malzemelerin devam eden hidratasyon reaksiyonlarından dolayı, hidrate olmamış bağlayıcı malzeme tanecikleri zamanla reaksiyona girerek daha yoğun ve birbiri ile bağlantılı mikroyapı (çatlakların kapatılması ve mikroyapısal kusurların giderilmesi anlamına gelir) oluşturmaktadır. Bu durum, yüksek hızlı ultrasonik dalgalar ve dolayısıyla daha yüksek UPV değerleri sağlar. Buna ilaveten, tüm KYH'larda KTT oranındaki artış ile birlikte UPV değerlerinde azalma meydana gelmiştir. Çünkü çoğu katkı malzemelerinin (mineral katkılar, KTT, vb.) kullanımıhem basınç dayanımı hem de UPV değerlerinde azalmaya neden olur

(Şahmaran ve ark., 2006). Bu sonuç çimento içeriğinin yüksek olması nedeniyle kontrol karışımının (KTT içermeyen karışım) daha yoğun olduğu anlamına gelir. Yukarıda bahsedilen nedenlerden dolayı, KTT'nin çimento ile yerdeğiştirilmesi arttıkça hidratasyon ürünlerindeki azalmadan dolayı mikroyapı bozulur ve UPV değerleri azalır. KTT'nin çimentonun yerine kısmi olarak kullanılması UPV değerlerinde önemli bir azalma etkisine sebep olsa da, UPV değerleri yine de çimento esaslı malzemenin kalite sınıflanmasının belirlendiği iyi bir kategori aralığındadır (Dave ve ark.,2017).

KYH'lar, %15 ve %35 KTT içeriklerinde 28 gün kür süresi için sırasıyla, 3,52 km/s ve 3,27 km/s UPV değerleri sergilediler. Bu değerler, %15 KTT içeren karışımlar için kabul edilebilirken, %35 KTT içeren karışımlar için şüpheli kategori aralığındadır.

Başka dikkat çekici bir sonuç bakımından, basınç dayanımı ve UPV değerleri arasındaki ilişki Şekil 4.8.'de verilmiştir. Şekil 4.8.'de görüldüğü gibi, KTT içeriği arttıkça referans KYH'lara kıyasla, tüm karışımların hem UPV hem de basınç dayanımı değerleri azalmaktadır. Yani UPV değerlerindeki düşüş, basınç direncindeki düşüşle aynı seviyededir (Panesar ve ark., 2017).

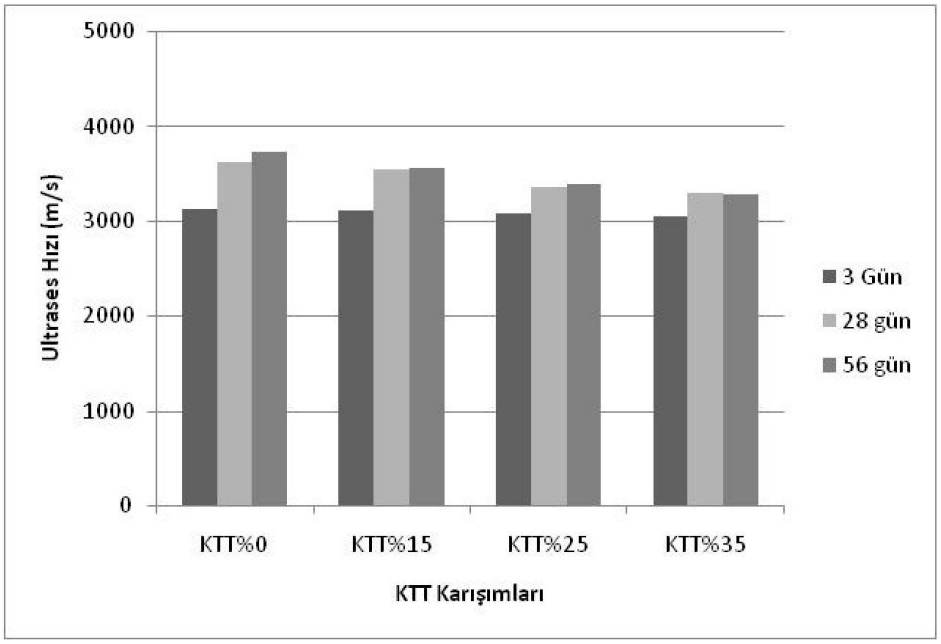


Şekil 4.8. 28 günlük Ultrases geçiş hızı veBasınç dayanımı

Betonun UPV değeri, kür yaşı, nem içeriği, boşluk, katkı türü ve ara yüzey geçiş bölgesi özellikleri gibi çeşitli parametrelerden etkilenir (Yazici ve Mardani-Aghabaglou,2017). Bu nedenle, test sonuçları KTT'nin yerdeğiştirme yüzdesinin KYH'ların mikroyapısal performansında bir azalmaya neden olan önemli bir değişken olduğunu doğrulamaktadır. Bir çok çalışmada, basınç dayanımı ile betonun UPV değerleri arasında bağlantı olduğu kanıtlanmıştır (Madandoust ve Mousavi, 2012; Sua-iam ve Makul, 2013; Subaşı ve ark., 2017).

UPV ile basınç dayanımı arasındaki bu beklenen etkileşim, daha düşük hidratasyon ürünlerine ve KYH'ların basınç mukavemetinde azalmaya neden olan iç yapılarındaki yüksek gözenekliliğe bağlıdır.

3, 28 ve 56 günlük 75x150 mm'lik silindir numunelere ASTM C597-83'e göre testuygulanmıştır. Ses dalgaları numunenin bir yüzeyinden gönderilmiş ve geri alındığı yüzey arasındaki mesafeyi ne kadar sürede geçtiği ölçülerek dalga hızları kaydedilmiştir. Alınan sonuçlar aşağıda Şekil. 4.9.'a işlenmiştir.



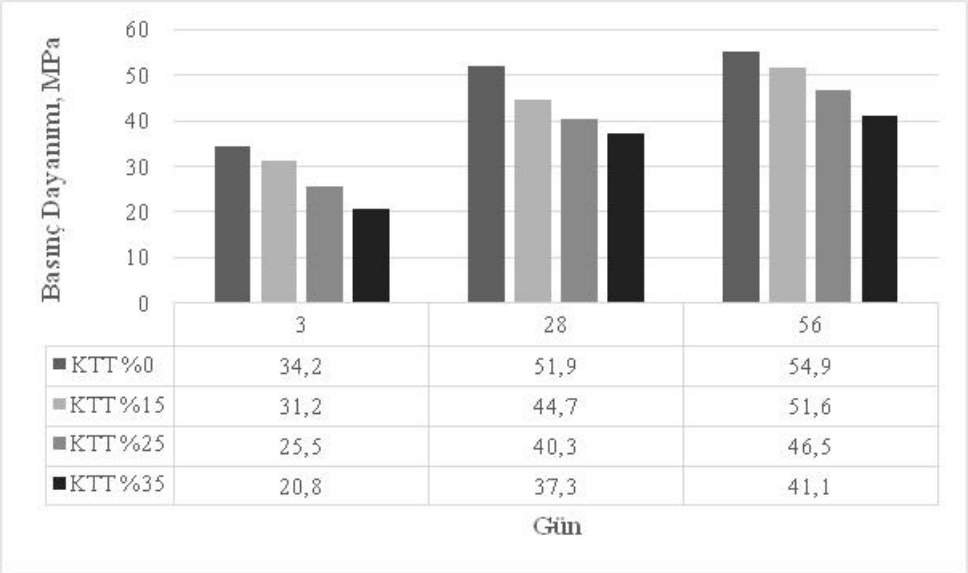
Şekil 4.9. Ultrases geçiş hızı değerleri

Şekil 4.9. incelendiğinde, KTT'nin boşluklu yapıyı arttırdığı ve KTT'nin değişen oranlarında 3, 28 ve 56 günlük numunelerin hiçbiri kontrol numunesinin değerlerini geçemediği gözlemlenmiştir.

4.2.2. Basınç dayanımı

Basınç dayanımının tespiti için 50x50x50 mm'lik küp numuneler kullanılmıştır. Tüm karışım numunelerinin 3, 28 ve 56 günlük basınç dayanımları ASTM C39 (ASTM, 1994) standardına göretest edilmiştir. Şekil 4.10.'da 3, 28 ve 56 günlerdeki çimento ile yerdeğiştirilen kireçtaşı tozu içeren KYH'ların ortalama basınç dayanım değerlerine ait sonuçlar verilmiştir. Kür yaşı ne olursa olsun, KTT içeriğinin artması ile basınç dayanım test sonuçlarında sabit bir azalmanın olduğu kolayca görülebilmektedir.

Kontrol numunesi (KTT%0) ile karşılaştırıldığında, 28 gün kür süresi için Portland çimentosuyla sırasıyla %15, %25 ve %35 oranlarında KTT'nin çimentoylayerdeğiştirilmesi ile KYH'ların basınç dayanımlarında sırasıyla %13.9, %22.37 ve %28.22 oranlarında azalmalar oluşmuştur. Bu sonuçlar %15'den fazla KTT içeriğinin devam eden hidratasyon reaksiyonlarında yer almadığını ve bunun sonucunda daha düşük basınç dayanımı değerine neden olduğunu göstermektedir. (Teichmann ve Schmidt,2004).



Şekil 4.10. Farklı oranda KTT içeren numunelerin basınç dayanımları

Ayrıca, betonun gözenek yapısına bağlı olan performans özellikleri, %15 maksimum yerdeğiştirme seviyesine ve bu seviyenin ötesindeki oranlarda yani, %15 yerdeğiştirme seviyesinin aşılması durumunda olumsuz etkilenmektedir. Genel olarak, çimento yerine %15'ten fazla kireçtaşı içeren PÇ'nin basınç dayanımı ve diğer tüm performans özellikleri, normal Portland çimentosundakinden daha kötüdür ve %15'e kadar olan yerdeğiştirme oranı en iyi kullanım aralığı olarak bilinmektedir (El-Hassan ve Shao, 2015). Dolayısıyla, çimento yerine %25 ve %35 KTT kullanılan KYH karışımlarının basınç dayanımlarının kontrol karışımlarına göre düşüş göstermesi, çimento hidratasyonunun azalmasına sebep olan seyreltme etkisiyle açıklanabilir (Moon ve ark., 2017).

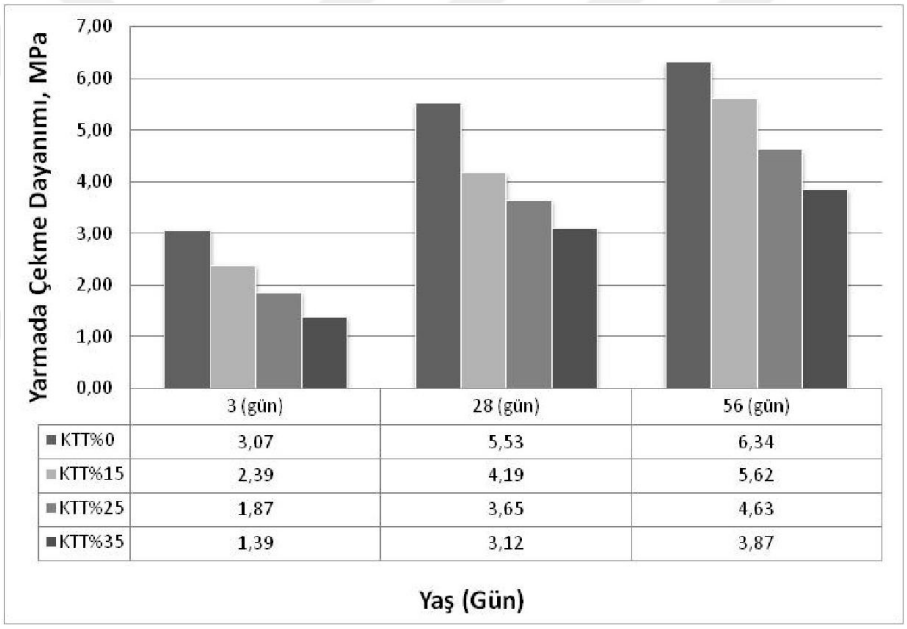
KTT kullanımı basınç dayanımı üzerinde pozitif ve negatif etkiler göstermektedir. KTT'nin %15'lik değiştirme seviyesinden daha düşük bir seviyede kullanılması durumunda hidratasyonda bir artış gözlenir. Fakat bu seviye aşıldığında yani çimento miktarı azalırsa, basınç dayanımında bir düşüş gözlenir. (Wang, 2017).

Bütün bunlara rağmen, %35 KTT içeren KYH karışımlarına ait basınç dayanımı değeri 30 MPa'dan daha yüksek çıkmıştır ve geleneksel çimento esaslı uygulamalar için yeterli olduğu kesinlikle söylenebilir. Bu durumda, hem çimento

üretiminde ekonomiklik hem de CO_2 salınımındaki azalmayı sağlayacağı bakımından büyük bir öneme haizdir.

4.2.3. Yarmada çekme dayanımı

Yarmada çekme dayanımı deneyleri ASTM C496 (ASTM, 1994) standartlarına uygun olarak yapılmıştır. Deneylerde 3, 28 ve 56 günlük 75x150 mm'lik silindir numuneler kullanılmıştır. 3,28 ve 56 günlük yarmada çekme mukavemeti test sonuçları ve yarmada çekme dayanımının basınç dayanımına oranı sırasıyla Şekil 4.11. ve Çizelge 4.3.'de gösterilmektedir.



	3 (gün)	28 (gün)	56 (gün)
KTT%0	3,07	5,53	6,34
KTT%15	2,39	4,19	5,62
KTT%25	1,87	3,65	4,63
KTT%35	1,39	3,12	3,87

Şekil 4.11. Farklı oranda KTT içeren numunelerin Yarmada-Çekme dayanımları

Şekil 4.11., KYH'larda KTT'nin %15'den fazla eklenmesinin, karışımların tüm kür yaşları için yarmada çekme dayanımını iyleştirmediğini göstermektedir. KTT'nin %15, %25 ve %35'lik yerdeğiştirme oranları için, sadece çimento içeren kontrol karışımına kıyasla daha düşük yarmada çekme dayanımına sebep olan istikrarlı bir düşüş eğilimi vardır. KTT ekleme oranı arttıkça, 28 gün kür yaşı için, %15, %25 ve %35 yerdeğiştirme seviyeleri için, %24.6, %33.26, ve %43.14 oranlarında azalmanın olduğu gözlemlenmiştir. Betonun sertleşmiş özellikleri ve mekaniksel davranışı esas olarak kendi mikro yapısına bağlıdır ve aynı zamanda mikro yapısından

etkilenmektedir (Shi ve ark., 2012). Çünkü, mineral katkı maddesinin (KTT) yerdeğiştirme oranı esas olarak beton mikro yapısını etkileyen en temel parametrelerden biridir ve bu yüzden yarmada çekme dayanımının gelişimi esas olarak diğer maddelerden daha çok bağlayıcı malzeme miktarına bağlıdır (Çakır, 2014).

KTT oranının çimento ileyerdeğiştirme seviyesindeki artış, hidratasyon ürünlerinin daha az miktarda oluşmasına sebep olur ve bu çoğunlukla, daha yüksek poroziteye, zayıf arayüz geçiş bölgesine ve daha düşük bağlanma kuvvetine yol açar (Wong ve ark., 2009).

Çizelge 4.3. Yarmada Çekme Dayanımı/Basınç Dayanımı oranları

KYH Karışımı	Yarmada Çekme Mukavemeti/Basınç Mukavemeti Oranları (%)		
	3 Gün	28 Gün	56 Gün
KTT %0	8.98	10.65	11.54
KTT %15	7.67	9.38	10.89
KTT %25	7.33	9.06	9.96
KTT %35	6.68	8.37	9.42

Yarmada çekme dayanımının basınç dayanımına oranları Çizelge 4.3.'te verilmiştir. Görüldüğü gibi bu oran, KTT'nin ilavesindeki artış ile azalmaktadır. Devam eden hidratasyon reaksiyonu ve ara yüzey geçiş bölgesinde iyileşmenin bir sonucu olarak, 28 ve 56 günlük kür yaşlarında bu oranlarda bir artış olduğu gözlemlenmiştir. Çizelge 4.3., yarmada çekme dayanımı ve basınç dayanımı değerlerinin KTT'nin yerdeğiştirme seviyesinden önemli oranda etkilendiğini göstermektedir. Çünkü yarmada çekme ve basınç dayanımı açısından çimento hamurunun ve ara yüzey geçiş bölgesinin performans özellikleri, mineral katkı içeriğinden etkilenmektedir (Singh ve Siddique, 2014). Buna ek olarak, Çizelge 4.3.'te verilen yarmada çekme ile basınç dayanımı oranları daha önce yapılan deneysel çalışmalarla uyumludur (Price, 1951;Singh ve Siddique, 2014). Çünkü yarmada çekme ile, basınç dayanımı oranları sırasıyla,normal ve yüksek dayanımlı geleneksel betonlarda yaklaşık %8-9 ve %7'dir.

Şekil 4.11.'deki sonuçlara göre, çimento yerine KTT kullanılan harçların yarmada çekme dayanımları, kontrol karışımının (KTT%0) yarmada çekme dayanımına ulaşamamıştır. KTT'nin artan oranlarda kullanımının yarmada çekme dayanımını düşürdüğü görülmüştür.

4.3. Durabilite Özellikleri

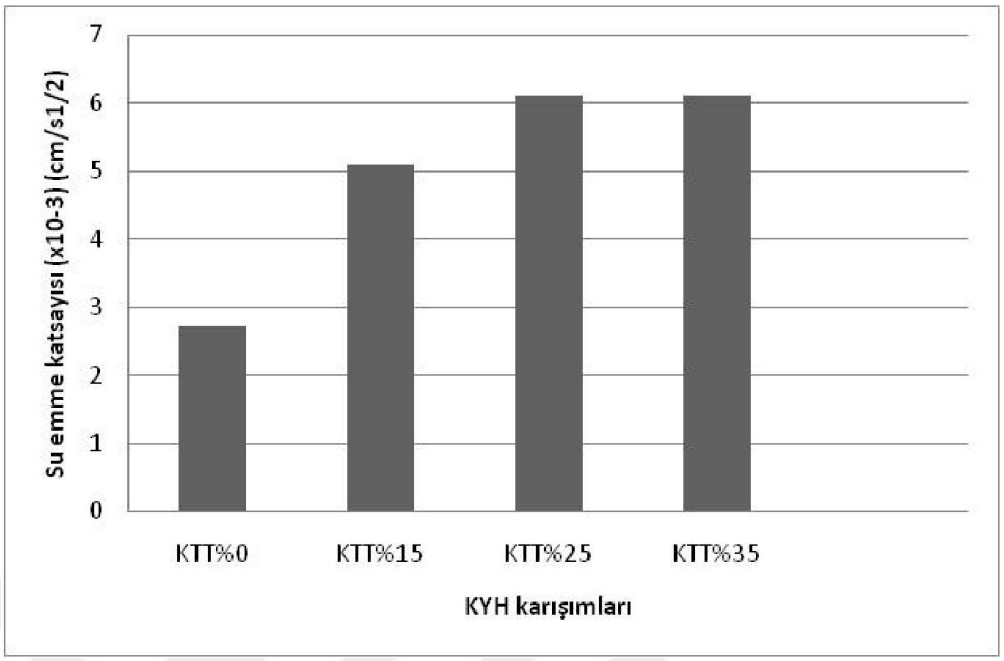
4.3.1. Kapiler su emme

Kapiler su emme deneyleri 28 günlük 75x150 mm'lik silindir numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Yan yüzeyleri izole edilmiş KYH numunelerinin sadece alt yüzeyleri suyla temas ettirilmiştir. Deney numunelerinin 0, 5, 10, 30, 60, 240, 1440. dakikalardaki su emme miktarları ağırlık olarak ölçülmüştür. 75x150 mm'lik silindir numunelerin kapiler su emme katsayıları Çizelge 4.4. ve Şekil 4.12.'de verilmiştir.

Çizelge 4.4. Kapiler Su Emme Katsayıları

Karışım No	**Karışım Adı**	**Kapiler Su Emme Katsayıları ($*10^{-3}$) ($cm/sn^{1/2}$)**
		28 Gün
1	KTT%0	2.73
2	KTT%15	5.11
3	KTT%25	6.14
4	KTT%35	6.13

Çizelge 4.4. incelendiğinde karışımlara çimento yerine katılan KTT miktarlarının artması ilekapiler su emme katsayılarının da arttığı görülmektedir. Ayrıca, kontrol karışımına kıyasla, çimento ile yerdeğiştirerek kullanılan KTT miktarının artmasıyla KYH numunelerine ait kapiler su emme katsayıları %15, %25 ve %35 KTT oranları için sırasıyla, yaklaşık %87, %125 ve %125 oranlarında artış göstermiştir. Buna sebep olarak, KTT miktarının fazla olduğu numunelerde hidratasyon ürünlerinin azalmasından dolayı gözeneklerin artması ve emilen suyun iletiminin arttığı söylenebilir.



Şekil 4. 12. 28 günlük KYH numunelerinin kapiler su emme katsayıları

4.3.2. Karbonatlaşma

Karbonatlaşma deneyinde 28 günlük kür sonrası 24 saat etüvde 100 ± 5°C sıcaklıkta bekletilen 100x100x100 mm küp numuneler 7, 15 ve 30 gün boyunca hızlandırılmış karbonatlaşma deneyine maruz bırakılmışlardır.

Hızlandırılmış karbonatlaşma deneyinde deney sonuçlarının daha net alınabilmesi için ortam koşulları maksimum karbonatlaşmayı verecek şekilde ayarlanmıştır. Bu koşullar daha öncede belirtildiği gibi ortam sıcaklığı ve ortam nemidir (Akman, 1997). Bu amaçla numuneler,sıcaklığın 20°C ve ortam nemininde %55 seviyelerinde olduğu karbonatlaşma tankında tutulmuştur. 7, 15 ve 30 günlük hızlandırılmış karbonatlaşma işlemine maruz bırakılan numuneler, tanktan çıkarıldıktan sonrapres ile ortadan yarılıp kesit yüzeylerine fenolfitalein püskürtülmüş ve karbonatlaşma derinlikleri Çizelge 4.5.'deki gibi kaydedilmiştir.

Çizelge 4.5. Kabonatlaşma derinlikleri

Karışım No	Karışım Adı	Karbonatlaşma Derinliği (mm)		
		7 Gün	15 Gün	30 Gün
1	KTT%0	1.8	2.1	4.0
2	KTT%15	2.3	3.4	4.8
3	KTT%25	2.5	4.0	5.8
4	KTT%35	4.2	5.4	6.2

Ayrıca, numuneler karbonatlaşma deneyi için tanka yerleştirilmeden hemen önce ve deney süreleri sonunda, tanktan çıkarıldıktan hemen sonra 0,01 gr hassasiyette bir terazi ile tartılmış ve kaydedilen sonuçlar Çizelge 4.6., Çizelge 4.7. ve Çizelge 4.8.'de verilmiştir.

Çizelge 4.6.7 günlük kabonatlaşmaya bağlı ağırlık değişimleri

Karışım No	Karışım Adı	Tanktan önce (gr)	Tanktan sonra (gr)	Fark (gr)	Fark (%)
1	KTT%0	2129.80	2151.92	21.12	0.99
2	KTT%15	2064.90	2095.38	30.48	1.48
3	KTT%25	2013.14	2063.48	50.34	2.50
4	KTT%35	1910.11	1989.00	78.89	4.13

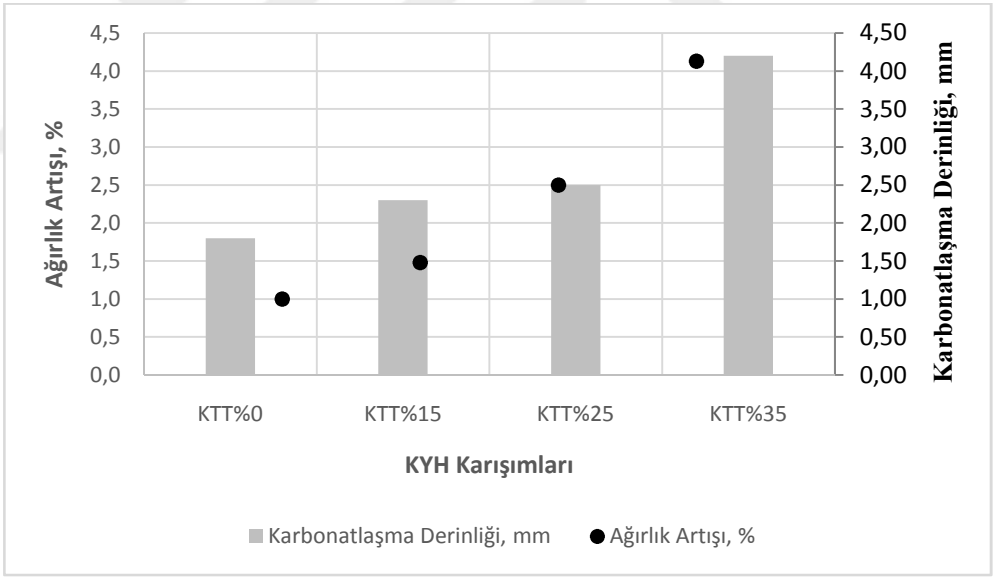
Çizelge 4.7.15 günlük kabonatlaşmaya bağlı ağırlık değişimleri

Karışım No	Karışım Adı	Tanktan önce (gr)	Tanktan sonra (gr)	Fark (gr)	Fark (%)
1	KTT%0	2167.9	2213.3	45.41	2.09
2	KTT%15	2142.25	2197.38	55.13	2.57
3	KTT%25	2040.83	2130.62	89.79	4.40
4	KTT%35	2033.55	2152.03	118.48	5.83

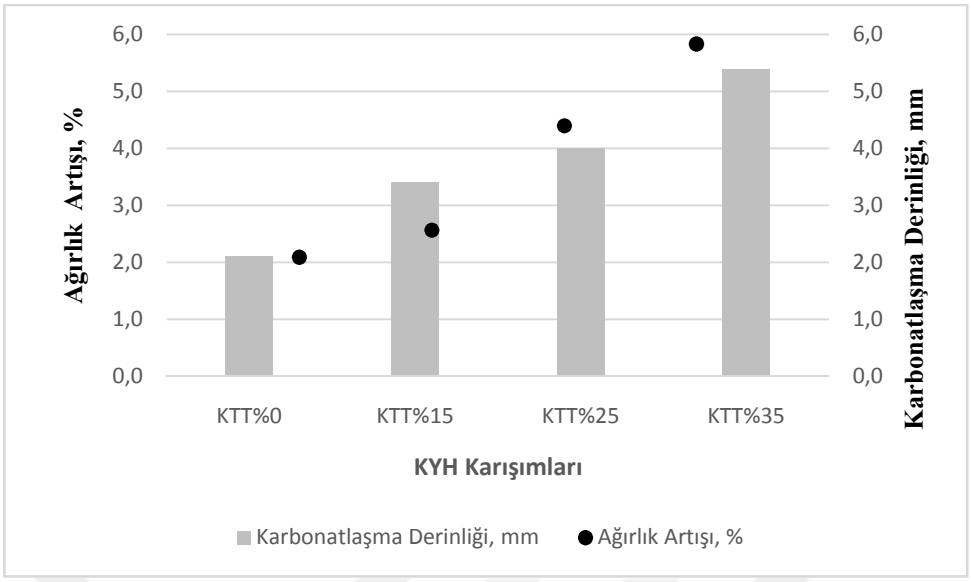
Çizelge 4.8. 30 günlük kabonatlaşmaya bağlı ağırlık değişimleri

Karışım No	Karışım Adı	Tanktan önce (gr)	Tanktan sonra (gr)	Fark (gr)	Fark (%)
1	KTT%0	2123.18	2190.40	67.22	3.17
2	KTT%15	2108.82	2198.16	89.34	4.24
3	KTT%25	2047.96	2168.53	120.57	5.89
4	KTT%35	2028.23	2192.62	140.39	6.92

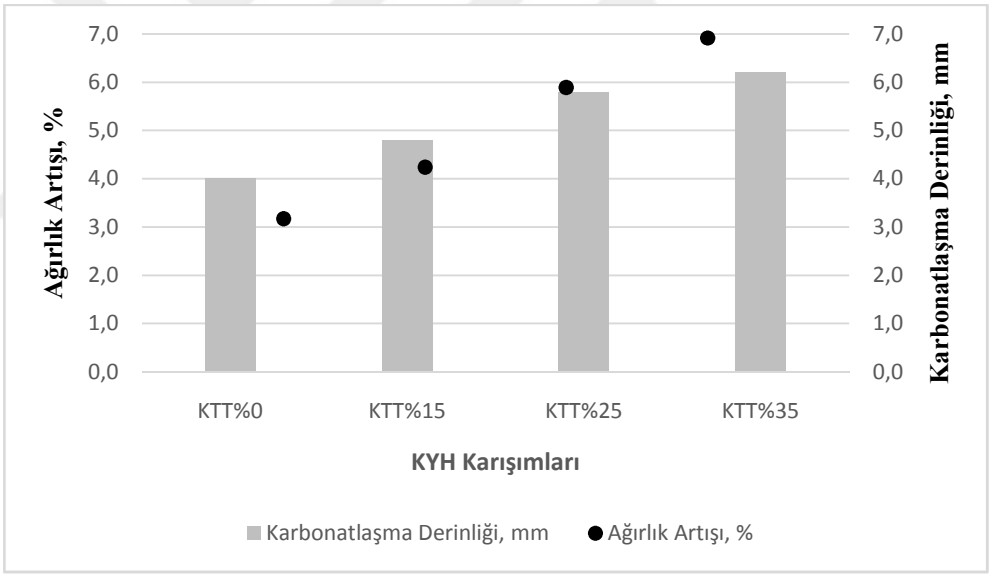
28 günlük KYH numunelerinin hızlandırılmış karbonatlaşma süreci sonrasındaki karbonatlaşma derinliği ve ağırlık kazanma değerleri sırasıyla, 7, 15 ve 30 günlük CO_2 difüzyon dönemleri için Şekil 4.13., Şekil 4.14. ve Şekil 4.15.'de verilmektedir. Bu şekiller KTT'nin çimentoyla tüm yerdeğiştirme seviyeleri için benzer düşüş eğilimleri göstermektedir ve KTT oranlarının KYH'ların karbonatlaşma direnci üzerinde belirgin bir olumsuz etkisi olduğu görülmektedir.



Şekil 4.13. 7 gün CO_2 difüzyonu sonunda KYH numunelerinde oluşan karbonatlaşma derinliği ve ağırlık değişimi



Şekil 4.14. 15 günCO_2 difüzyonu sonunda KYH numunelerinde oluşan karbonatlaşma derinliği ve ağırlık değişimi



Şekil 4.15. 30 günCO_2 difüzyonu sonunda KYH numunelerinde oluşan karbonatlaşma derinliği ve ağırlık değişimi

Betonun karbonatlaşması, CO_2'in etkisini belirlemek için kullanılan terimdir ve ayrıca betonarme yapıların en önemli dayanıklılık sorunlarından biridir (Behfarnia ve Rostami, 2017). Çünkü çimento esaslı matrisin yüksek pH'sı, paslanmaya karşı koruyucu pasif bir tabaka oluşturarak çelik çubuğun korozyona karşı korunmasını sağlar. Betonda karbonatlaşma, matrisin pH'sını pasif tabakanın bozulmaya başladığı

belli bir değerin altına düşürür (Hussain ve ark., 2017; Torgal ve ark., 2012; Shi ve ark., 2016; Oh ve ark., 2003).

Bir durabilite parametresi olarak karbonatlaşma, hem mikroyapı hem de karbonik asit ile alkali bileşenler arasındaki kimyasal reaksiyonlardan direk olarak etkilendiği için, yüksek miktarda KTT, çimento ile yerdeğiştirildiğinde, bu konu özel bir sorun haline gelebilir (Dhir ve ark., 2007). Yani karbonatlaşma süreci hem malzeme özelliklerine hem de çevreye bağlıdır (Wang, 2017). Bunun nedeni, kalsiyum hidroksit (CH) ve C-S-H gibi karbonatlaşabilir maddelerin içeriğinin, çimento ve ilave mineral katkı maddelerinin (puzolanik malzemeler, kireçtaşı tozu vb.) miktarı ile ilişkili olmasıdır.

Şekil 4.13., 4.14., 4.15.'ten görüldüğü gibi KYH numunelerinin karbonasyon direncinin, tüm karışımlar için KTT'nin çimento ile yerdeğiştirme seviyesindeki artış ile azalmaktadır. Bu davranış daha gözenekli bir mikroyapıya sahip olan ve düşük hidratasyon ürünleri içeren KYH numuneleri ile ilişkilendirilebilir. CO_2 gazının taşınımını hızlandıran gözenekli yapı nedeniyle, CH ve C-S-H ile reaksiyona giren CO_2 karbonatlaşma olayını arttırır (Bilim ve ark., 2013). Bu karbonatlaşma sürecinin bir sonucu olarak, karbonatlaşma derinliği, KYH'nın içeriğindeki KTT oranının artmasıyla artış gösterir (Palm ve ark., 2016; Parrott, 1996; Balayssac, ve ark., 1995). Buna ilaveten, daha önce belirtildiği gibi, çimentolu matriste atmosferde bulunan CO_2 gazının karışıma sızması ile bazı kimyasal reaksiyonlar oluşur ve daha sonra CO_2 gazı hidratasyon maddeleri ile reaksiyona girdiğinde betonun fiziksel ve kimyasal özellikleri değişir (Castellote ve ark., 2008; Rostami ve ark., 2012; Bertos ve ark., 2004).

KYH'lardaki fiziksel değişimlerden biri kalsiyum karbonat oluşumuna bağlı ağırlık artışıdır. Şekil 4.13-15'ten de görüldüğü gibi, hidratasyona girmemiş CH ve CSH'nın yayılmış karbondioksit ile devam eden kimyasal reaksiyonlarının bir sonucu olarak KYH'nın çevresini saran CO_2 gazının uygulandığı 7, 15 ve 30 günlerde farklı seviyelerde ağırlık artışı meydana geldiği ortaya çıkmaktadır. Karbonatlaşma derinliğindeki artışın, tüm CO_2 yayılma süreleri (7, 15 ve 30 gün) boyunca tüm

karışımlar için ağırlık artışı ile paralellik gösterdiği de açıktır. Şekil 4.13., Şekil 4.14. ve Şekil 4.15.'den de görülebileceği üzere, sadece çimento içerenkontrol karışımı ile karıştırıldığında, 30 günlük CO_2 difüzyonu sonunda KYH numunelerinde oluşan karbonatlaşma derinliğindeki artış, %15, %25 ve %35 oranlarındaki KTT yerdeğiştirmeleri için sırasıyla, %20, %45 ve %55'dir. Sonuç olarak, numunelerin ağırlık kazanımındaki daha fazla artış, artan boşluklu yapıdan dolayı yüksek oranda karbonatlaşmış olan kalsiyum hidroksit (CH) ve C-S-H'a dayandırılabilir. Sonuçta, KTT miktarı arttıkça CO_2'nin numunelere daha fazla nüfuz ettiğini ve dolayısıyla karbonatlaşma derinliğindeki artışın harç numunelerindeki gözeneklerin artmış olmasına bağlayabiliriz.

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu tez, KTT'nin Çimento ile yer değiştirme yüzdesine bağlı olarak KYH'nın mini çökme-yayılma, mini V-hunisi, rotasyonel viskozimetre gibi işlenebilirlik ve reolojik özellikleri, ultrases geçiş hızı, basınç dayanımı, yarmada-çekme dayanımı gibi mekanik özellikleri, kapiler su emme ve karbonatlaşma gibi durabilite özellikleri üzerine etkisini incelemektedir. Deney bulgularına göreaşağıdaki sonuçlar çıkarılabilir:

1. Çimento yerine KTT kullanımının artmasıyla birlikte karışımların su ihtiyacı azalmıştır. Buna bağlı olarak yaklaşık aynı çaptaki çökme-yayılma çapları daha az süperakışkanlaştırıcı kullanılarak elde edilmiştir.

2. Benzer şekilde, V-hunisi akış süreleri de KTT miktarının artmasıyla, daha az su ihtiyacıyla birbirine yakın akış sürelerine sebep olmuştur. Yani, özgül yüzeyi çimentoya göre daha düşük olan KTT daha viskoz bir karışıma neden olmuştur.

3. T=0 için KTT miktarındaki artışın, karışımın akma gerilmesi değerini önemli ölçüde değiştirmediği, T=20 dk ve T=40 dk için %15 oranında KTT kullanılan karışımların akma gerilmesi değerleri belirgin bir şekilde artmıştır. Ancak KTT'nin %25 ve %35 oranlarında kullanımı, akma gerilmesinin düşmesine neden olmaktadır.

4. Ultrases geçiş hızı değerleri incelendiğinde, KTT'nin artmasıyla birlikte KTT'nin değişen oranlarında 7, 28 ve 56 günlük numunelerin hiçbiri kontrol numunesinin değerlerini geçemediği gözlemlenmiştir.

5. %35 KTT içeren KYH karışımlarına ait basınç dayanımı değeri 30 MPa'dan daha yüksek çıkmış olup geleneksel çimento esaslı uygulamalar için yeterli düzeyde bir dayanım olduğu kesinlikle söylenebilir. Bu durumda, hem çimento üretiminde ekonomiklik hem de CO_2 salınımındaki azalmayı sağlayacağı bakımından büyük bir öneme haizdir.

6. Çimento yerine KTT kullanılan harçların yarmada çekme dayanımları, kontrol karışımının (KTT%0) yarmada çekme dayanımına ulaşamamıştır. KTT'nin artan oranlarda kullanımının yarmada çekme dayanımını düşürdüğü görülmüştür.

7. Çimento yerine katılan KTT miktarlarının artması ile kapiler su emme katsayılarının da arttığı görülmektedir. Bu artışın, sadeceçimento içeren kontrol karışımına kıyasla, %15 KTT içeren karışım numuneleri için %87 iken, %25 ve %35 KTT içeren KYH numuneleri için yaklaşık %125 oranında olduğu görülmüştür. Bu da azalan çimento miktarına bağlı olarak iç yapıdaki gözeneklerin artmasına dayandırılabilir.

8. Karbonatlaşma derinlikleri incelendiğinde, KTT miktarı arttıkça CO_2'in numunelere daha fazla nüfuz ettiği görülmüştür. Karbonatlaşma derinliğindeki artışı harç numunelerindeki gözeneklerin artmış olmasına bağlayabiliriz. Aynı şekilde gözeneklerin artışına bağlı olarak karbonatlaşmanın artması, görülen ağırlık artışınında sebebidir.

Bütün bu sonuçlar dikkate alındığında, KYB'de çimento yerine KTT kullanılmasının karışımın su ihtiyacını azaltması bakımından işlenebilirliğe olumlu etki yaptığı söylenebilir. Bunun yanında, çimento yerine KTT kullanımının, %15'ten fazla olmasının betonun mekanik ve durabilite özelliklerini olumsuz etkileyeceği açıkca görülmektedir. Fakat betonun en pahalı ve üretimi esnasındaki yüksek oranda CO_2 salınımı sebebiyle çevre açısından en tehlikeli bileşeni olan çimentodaki kullanımın azalması nedeniyle, KTT kullanımının az miktarlarda da olsa beton üretiminde kullanılmasının çok büyük bir öneme haiz olduğu açıktır.

KAYNAKLAR

AÇIKGENÇ, M., KARATAŞ, M., ve ULUCAN, Z.Ç., 2013.Elazığ Yöresine Ait Atık Tuğla Ve Kireçtaşı TozununKendiliğinden Yerleşen Harcın Mühendislik Özelliklerine Etkisi.Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 19 (6): 249-255.

AKMAN, M.S., 1997. Betonlarda Karbonatlaşma veYeniden Alkalizasyon Süreçleri. Türkiye İnşaat Mühendisliği 14. Teknik Kongresi, İnşaat Mühendisleri Odası, (26): İzmir Şubesi.

AKMAN, M. S; 2002. Betona Gömülü Çeliğin Korozyonu, Riskin Saptanması, Önlemeler. Sika Teknik Bülten,3 (4):İstanbul.

ASTM C 39/C39M, 1994. Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens.

ASTM C 496, 1994. Standart Test Method for Split Tensile Strenght of Cylindrical Concrete Specimens, Annual Book of ASTM Standards.

ASTM C109/C 109M–99, 1999. Standard test method for compressive strength of hydraulic cement mortar, Annual book of ASTM standards, 04.01 Cement, Lime, Gypsum, USA.

ASTM C349, 2002. Standard test method for compressive strength of hydraulic-cement mortars (Using portions of prisms broken in flexure), Annual book of ASTM standards, USA.

BANFİLL, P. F. G., 1994. Rheological methods for assessing the flow properties of mortar and related materials. Construction and Building materials, 8(1): 43-50.

BALAYSSAC, J. P.,DÉTRİCHÉ, C. H., GRANDET, J., 1995. Effects of curing upon carbonation of concrete. Construction and Building Materials, 9(2): 91-95.

BARADAN, B.,YAZICI, H., ve ÜN, H., 2010. Beton ve Betonarme Yapılarda Kalıcılık (Durabilite). Türkiye Hazır Beton Birliği Yayınları, 54-58.

BARADAN, İ.B., veAYDIN, S., 2013. Betonun Durabilitesi. Beton 2013 Hazır Beton Kongresi, Çağrılı Bildiriler Kitabı, 21-23 Şubat, İstanbul, 264-288.

BEHFARNİA, K., ROSTAMİ, M., 2017. An assessment on parameters affecting the carbonation of alkali-activated slag concrete. Journal of Cleaner Production, 157:1-9.

BERTOS, M. F.,SİMONS, S. J. R., HİLLS, C. D., CAREY, P. J., 2004. A review of accelerated carbonation technology in the treatment of cement-based materials and sequestration of CO2. Journal of hazardous materials, 112(3): 193-205.

BİLİM, C., KARAHAN, O.,ATİŞ, C. D., ILKENTAPAR, S., 2013. Influence of admixtures on the properties of alkali-activated slag mortars subjected to different curing conditions. Materials& Design, 44: 540-547.

BONAVETTİ, V., DONZA, H., RAHHAL V., IRASSAR E., 2000. Influence of initial curing on the properties of concrete containing limestone blended cement. Cement and Concrete Research, 30(5): 703-708.

BONAVETTİ, V.L., RAHHAL V.F., and IRASSAR E.F., 2001. Studies on the carboaluminate formation in limestone filler-blended cements. Cement and Concrete Research, 31(6): 853–859.

BOUZOUBAA, N., and LACHEMİ, M., 2001. Self-compacting concrete incorporating high volumes of class F fly ash preliminary results. Cem. Concr. Res., 31(3): 413-420.

BRUECKNER, R., 2007. Accelerating the Thaumasite From of Sulfate Attack and an Investigation of Its Effects on Skin Friction. Ph.D. Thesis, Birmingham University, 257.

BÜRGE, T., 1999. Viscocrete, Latest Development. Madrid, Spain.

CASTELLOTE, M., ANDRADE, C., TURRİLLAS, X., CAMPO, J., & CUELLO, G. J. 2008. Accelerated carbonation of cement pastes in situ monitored by neutron diffraction. Cement and concrete research, 38(12): 1365-1373.

CEUKELAİRE, L.DE., and NİEUWENBURG, D.VAN., 1992. Accelerated Carbonation of A Blast Furnace Cement Concrete. Cement and Concrete Research, 23(2): 442-452.

COLLİNS, F., and SANJAYAN, JG., 1999. Effects of ultra-fine materials on workability and strength of concrete containing alkali-activated slag as the binder. Cem. Concr. Res., 29(3): 459–462.

COURARD, L., DARIMONT, A., WILLEM, X., GEERS, C., and DEGEIMBRE, R., 2002.Repairing Concretes with Self Compacting Concrete. Testing Methodology Assessment, First North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete, 267-274.

ÇAKIR, Ö., 2014. Experimental analysis of properties of recycled coarse aggregate (RCA) concrete with mineral additives. Construction and Building Materials, 68: 17-25.

DANZINGER, M.W., SAITOH, K., and JOST, P., 2002. Self-Consolidating Concrete: Key Learning and Their Effects on Current Applications. First North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete, 417-422.

DAVE, N.,MİSRA, A. K., SRİVASTAVA, A., SHARMA, A. K., KAUSHİK, S. K., 2017. Study on quaternary concrete micro-structure, strength, durability considering the influence of multi-factors. Construction and Building Materials, 139: 447-457.

DHİR, R. K., LİMBACHİYA, M. C., MCCARTHY, M. J., CHAİPANİCH, A., 2007. Evaluation of Portland limestone cements for use in concrete construction. Materials and Structures, 40(5): 459-473.

EFNARC, 2002. Specifications and Guidelines for SelfCompacting Concrete. EFNARC, Association House, 99 West Street, Farnham, UK, www.efnarc.org, ISBN 0 953973344, February, 32.

EL-HASSAN, H., SHAO, Y., 2015. Early carbonation curing of concrete masonry units with Portland limestone cement. Cement and Concrete Composites, 62: 168-177.

ELKHADİRİ, I., DİOURİ, A., ARİDE, J., and PUERTAS, F., 2002. Mechanical behaviour of various mortars made by combined fly ash and limestone in Moroccan Portland cement.Cement and Concrete Research, 32(10): 1597-1603.

FELEKOĞLU B., TÜRKEL S., ve BARADAN B., 2004. Kendiliğinden yerleşen beton. TMMOB, İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi, Haber Bülteni, 05 Haziran, 19 (117): 20-24.

FELEKOĞLU, B.,ÖNAL, O., veÖZDEN, G., 2005. Kendiliğinden Yerleşen Betonların Boşluk Yapısının Normal Betonla Karıştırılması. 6. Ulusal Beton Kongresi, 30 Kasım, İstanbul, 71.

FELEKOĞLU, B., 2007.Utilisation of High Volumes of Limestone Quarry Wastes In Concrete Industry (Self-Compacting Concrete Case). Resources, Conversation and Recycling, 51(4): 770-791.

FEYS, D.,VERHOEVEN R., veSCHUTTER G., 2007. Steady-state Rheological Properties of Fresh Self Compacting Concrete and Their Evoluation in Time. Annual Transactions of The Nordic Rhelogy Society, 15: 35-41.

GÜNEYİSİ, E., ve GESOĞLU, M., 2007. Uçucu kül ve Metakaolin İçeren Kendiliğinden Yerleşen Harçlar. 2. Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyumu ve Sergisi, 12-13 Nisan, 161-172.

GÜNEYİSİ, E., GESOĞLU, M., and ÖZBAY, E., 2010. Strength and Drying Shrinkage Properties of Self-Compacting Concretes Incorporating Multi-System Blended Mineral Admixtures. Construction and Building Materials, 24(10): 1878–1887.

GRZESZCZYK, S., and LİPOWSKİ, G., 1997. Effect of content and particle size distribution of high-calcium fly ash on the rheological properties of cement pastes. Cem. Concr.Res., 27(6):907–916.

GHAZEL, A. and KHAYAT, K.H., 2002.Optimizing Self Consolidating Concrete with Limestone Filler by Using Statistical Factorial Design Methods. ACI Material Journal, 99(3): 264-272.

HEİKAL, M.,EL-DİDAMONY, H., and MORSY, M.S., 2000. Limestone-filler pozzolanic cement. Cement and Concrete Research,30(11): 1827-1834.

HUSSAİN, S., BHUNİA, D., SİNGH, S. B., 2017. Comparative study of accelerated carbonation of plain cement and fly-ash concrete. Journal of Building Engineering, 10: 26-31.

HONG-SAM KIM, SANG-HO LEE, and HON-YOUNG MOON 2007. Strength Properties and Durability Aspects of High Strength Concrete Using Korean Metakaolin. Construction and Building Materials, 21(6): 1229-1237.

INGRAM, K.D., andDAUGHERTY,K.E., 1991.A review of limestone addition to Portland cement concrete. Cement and Concrete Composites, 13(3): 165–170.

JUSTNES, H.,ØSTNOR, T.A., DE WEERDT, K., and VİKAN, H., 2011.Calcined Marl and clay as mineral addition for more sustainable concrete structures. Proceedings of the 36th International Conference on Our World in Concrete& Structures, 14-16 August , Singapore, (ISBN: 978-981-08-9528-0), 14-16.

KARATAŞ, M., TÜRK, K., ve GÖNEN, T., 2011. Silis Dumanı Miktarının Kendiliğinden Yerleşen Betonun Kılcal Su Emme ve Karbonatlaşma Özelliklerine Etkisi. 8. Ulusal Beton Kongresi, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul ve İzmir Şubeleri, 5-7 Ekim, İzmir, 31-41.

KHAN, M.I., and LYNSDALE, C.J., 2002. Strength, permeability, and carbonation of high-performance concrete. Cement and Concrete Research, 32(1): 123-131.

KHAYAT, K.H.,and Yahia, A.,1997. Effect of welan gum—high-range water reducer combination on rheology of cement grout. ACI Material Journal, 94(5): 365– 372.

KHAYAT, K.H., 1999.Workability, testing, and performance of self-consolidating concrete. ACI Material Journal, 96(3): 346-353.

KHAYAT, K.H., and DACZKO, J.A., 2002. The Holsitic Approach to Self-Consolidating Concrete. First North American Conference on the Design and Use of Self- Consolidating Concrete, 3-8.

LACHEMİ, M.,HOSSAİN, K.M.A., LAMBROS, V., and BOUZOUBAA, N., 2003. Development of Cost Effective Self Consolidating Concrete Incorporating Fly Ash, Slag Cement, or Viscosity Modifying Admixtures. ACI Material Journal, 100(5): 419-425.

LO, T.Y.,TANG, W.C., and NADEEM A., 2008. Comparison of Lightweight Concrete With Normal Weight Concrete at Similar Strength Levels. Construction and Building Materials, 22(8): 1648-1655.

LOO, Y.H., CHİN, M.S., TAM, C.T., and ONG, K.C.G., 1994. A Carbonation Prediction Model For Accelerated Carbonation Testing of Concrete. Magazine of Concrete Research, 46(168): 191-200.

MADANDOUST, R., MOUSAVİ, S. Y., (2012). Fresh and hardened properties of self-compacting concrete containing metakaolin. Construction and building materials, 35: 752-760.

MALHOTRA, V.M., and CARETTE, G.G., 1983. Silica Fume Concrete - Properties, Applications, and Limitations. Concrete International, ACI, May,5(1): 3-13.

MARTIN, D.J., 2002. Economic Impact of SCC in Precast Applications. First North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete, 47-152.

MOON, G. D., OH, S., JUNG, S. H., CHOİ, Y. C., 2017. Effects of the fineness of limestone powder and cement on the hydration and strength development of PLC concrete. Construction and Building Materials, 135: 129-136.

NEHDİ, M., MİNDESS, S., and AİTCCİN, P.C., 1998. Rheology of High Performance Concrete Effect of Ultrafine Particles. Cem. Concr. Res., 28(5): 687-697.

OH, B. H., LEE, S. K., LEE, M. K., JUNG, S. H.,2003. Influence of carbonation on the chloride diffusion in concrete. Journal of the Korea Concrete Institute, 15(6): 829-839.

OKAMURA, H., OUCHİ, M., 1999. Self Compacting Concrete. Development, Present Use and Future. Proceedings of the First International RILEM Symposium, Stockholm, Sweden, 3-14.

OKAMURA, H., and OUCHİ, M., 2003. Self-compacting Concrete. Journal of Advanced Concrete Technology. April, 1(1): 5-15.

OZAWA, K., SAKATA, N., and OKAMURA, H., 1994. Evaluation of self-compactability of fresh concrete using the funnel test. Proc. of JSCE,23(490): 61-70.

OZKUL, M.H.,DOĞAN, Ü.A., ÇAVDAR, Z., SAĞLAM, A.R., andPARLAK, N., 2000. Effects of Self Compacting Concrete Admixtures on Fresh and Hardened Cencrete Properties. 2nd Int. Symp. on Cement and Concrete Technology in the 2000's, Sept.6-10,1:493-502.

ÖZKUL, M.H.,SAĞLAM, A.R., PARLAK, N., DOĞAN, A., MUTLU, M., and MANZAK, O., 2002.The Usage of Self-Compacting Concrete in the Precast Industry. 17th Int. Congress of the Precast Concrete Industry,BIBM 2002, Istanbul.

PALM, S.,PROSKE, T., REZVANİ, M., HAİNER, S., MÜLLER, C., GRAUBNER, C. A., 2016. Cements with a high limestone content–Mechanical roperties, durability and ecological characteristics of the concrete. Construction and Building Materials, 119: 308-318.

PANESAR, D. K., AQEL, M., RHEAD, D., SCHELL, H.,2017. Effect of cement type and limestone particle size on the durability of steam cured self-consolidating concrete. Cement and Concrete Composites, 80: 175-189.

PARK, C.K., NOH, M.H., and PARK, T.H., 2005. Rheological Properties of Cementitious Materials Containing Mineral Admixtures. Cement Concrete Research, 35(5): 842-849.

PARROTT, L. J.,1996. Some effects of cement and curing upon carbonation and reinforcement corrosion in concrete. Materials and Structures, 29(3), 164.

PÉRA, J., HUSSON, S., and GUİLHOT B., 1999. Influence of ground limestone on cement hydration. Cement and Concrete Composites, 21(2): 99–105.

PRİCE, W. H.,1951. Factors influencing concrete strength. In Journal Proceedings 47(2): 417-432.

REMAZANİANPOUR AA., 1987. Properties and Durability of Pozzolanic Cement Mortars and Concretes. PhD Thesis, Civil Engineering Department, The University of Leeds, UK.

RILEM Committee CPC-18, 1988. Measurement of Hardaned Concrete Carbonation Depth. Mater Struct. 21(126): 453-435.

ROSTAMİ, V.,SHAO, Y., BOYD, A. J., HE, Z., 2012. Microstructure of cement paste subject to early carbonation curing. Cement and Concrete Research, 42(1): 186-193.

SAKAMOTO, J., YOKOİ, K., and SHİNDOH, T., 1998. Influence of powder or coarse aggregate volume on self-compactability of self-compacting concrete. Proc. JCI, 20(2): 415-420.

SAĞLAM, A.F., and ÖZKUL, M.H., 2006. Kendiliğinden Yerleşen Betonların Reolojik Özelliklerine Bileşim Parametrelerinin Etkisi. İTÜ Dergisi, 5(1): 239-250.

SHİ, X. S., COLLİNS, F. G., ZHAO, X. L., WANG, Q. Y., 2012. Mechanical properties and microstructure analysis of fly ash geopolymeric recycled concrete. Journal of hazardous materials, 237: 20-29.

SHİ, Z.,LOTHENBACH, B., GEİKER, M. R., KAUFMANN, J., LEEMANN, A., FERREİRO, S., SKİBSTED, J., 2016. Experimental studies and thermodynamic modeling of the carbonation of Portland cement, metakaolinand limestone mortars. Cement and Concrete Research, 88: 60-72.

SİDDİQUE, R., 2010. Properties of Self-Compacting Concrete Containing Class F Fly Ash. J Mater Design 32(3): 1501-1507.

SİNGH, M., SİDDİQUE, R., 2014. Strength properties and micro-structural properties of concrete containing coal bottom ash as partial replacement of fine aggregate. Construction and Building Materials, 50: 246-256.

SİLVER, E., and CHO, A., 2012. Movie Star Bridge's Days Numbered. ENR.com Engineering News-Record, 03 Aralık.

SKARENDAHL, A. and PETERSON, O., 2000. Self-Compacting Concrete. State-of-the Art Report of RILEM Technical Committee, 174.

SOROKA, I., and STERN, N., 1976. Calcareous fillers and the compressive strength of Portland Cement.Cement and Concrete Research, 6(3): 367–376.

SUA-İAM, G., MAKUL, N., 2013. Utilization of limestone powder to improve the properties of self-compacting concrete in corporating high volumes of untreated ricehusk ash as fineaggregate. Construction and Building Materials, 38: 455-464.

SUBAŞI, S., ÖZTÜRK, H., EMİROĞLU, M., 2017. Utilizing of waste ceramic powders as filler material in self-consolidating concrete. Construction and Building Materials, 149: 567-574.

ŞAHMARAN, M.,CHRİSTİANTO, H.A., and YAMAN, İ.Ö., 2006.The Effect of Chemical Admixtures and Mineral Additives on The Properties of Self-Compacting Mortars. Cement & Concrete Composites, 28(5): 432–440.

TAYLOR, H.F.W., 1997. Cement Chemistry, London, Academic Press 2nd Ed.

TOPCU, I. B., BİLİR, T., UYGUNOĞLU, T., 2009. Effect of waste marble dust content as filler on properties of self-compacting concrete. Construction and Building Materials, 23(5): 1947-1953.

TORGAL, F. P.,MİRALDO, S., LABRİNCHA, J. A., DE BRİTO, J., 2012. An overview on concrete carbonation in the context of eco-efficient construction: Evaluation, use of SCM sand/or RAC. Construction and Building Materials, 36: 141-150.

TEİCHMANN, T., SCHMİDT, M., 2004. Influence of the packing density of fine particles on structure, strength and durability of UHPC. In International symposium on ultra high performance concrete, 313-323.

THBB, 2007. Kendiliğinden Yerleşen Beton İçin Avrupa Kılavuzu. Türkiye Hazır Beton Birliği, Nisan, 10-63.

TSİVİLİS, S.,CHANİOTAKİS, E., KAKALİ, G., BATİS, G., 2002. An analysis of theproperties of Portland limestone cement sand concrete. Cementand Concrete Composites, 24(3): 371-378.

TS 4834, 1986. Beton ile İlgili Terimler. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN206-1, 2002. Bölüm 1: Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk, TSE, Ankara.

TS 13515, 2012. TS EN 206-1'in Uygulamasına Yönelik Tamamlayıcı Standart, TSE, Ankara.

TSIVILIS, S.,CHANIOTAKIS, E.,BADOGIANNIS, E.,PAHOULAS, G., andILIAS, A., 1999.A study on the parameters affecting the properties of Portland limestone cements. Cement and concrete composites, 21(2):107–116.

TÜRK K.,KARATAŞ M.,ULUCAN Z. Ç., 2006.Farklı Oranlarda F Sınıfı Uçucu Kül İçeren Kendiliğinden Sıkışan Betonun Dayanım Özellikleri.Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 18(4): 513-520.

TÜRK K., 2011. İkili ve Üçlü Sistemlerde Uçucu Kül ve Silis Dumanı İkameli Kendiliğinden Yerleşen Harcın İşlenebilirlik ve Dayanım Özellikleri.8. Ulusal Beton Kongresi,TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul ve İzmir Şubeleri, İzmir, 5-7 Ekim, 571-581.

UCHIKAWA, H.,HAREHARA, S., andSAWAKI D., 1997. The role of steric repulsive force in the dispersion of cement particles in cement paste prepared with organic admixture. Cement and Concrete Research, 27(1): 37-50.

UYGUNOĞLU, T., 2008. Hafif Agregalı Kendiliğinden Yerleşen Betonların Özelikleri. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Isparta, 214s.

VALCUENDE, M., and PARRA, C., 2010. Natural Carbonation of Self-Compacting Concrete. Construction and Building Materials, 24:848-853.

VUK, T.,TINTA,V.,GABROVEK, R., andKAUI, V., 2001.The effects of limestone addition, clinker type and fineness on properties of Portland cement, Cement and Concrete Research, 31(1): 135–139.

WANG, X. Y., 2017. Modeling of Hydration, Compressive Strength, and Carbonation of Portland-Limestone Cement (PLC) Concrete. Materials, 10(2): 115.

WONG, H. S., ZOBEL, M., BUENFELD, N. R., ZİMMERMAN, R. W.,2009. Influence of the interfacial transition zone and microcracking on the diffusivity, permeability and sorptivity of cement-based materials after drying. Mag. Concr. Res, 61(8): 571-589.

YAHIA, A.,TANIMURA, M., SHIMABUKURO, A., SHIMOYAMA, H., andTOCHIGI, T., 1999. Effect of Mineral Admixtures on Rheological Properties of Equivalent Self-Compacting Concrete Mortar. Proceedings of the 7th East Asia-Pacific Conf. on Structural Engineering & Construction, Kochi, Japan, August 27– 29, 21:559-564.

YAHIA, A.,TANIMURA, M., andSHIMOYAMA, Y., 2005. Rheological Properties of Highly Flowable Mortar Containing Limestone Filler-Effect of Powder Content and W/C Ratio. Cement and Concrete Research, 35(3): 532-539.

YAMAN, I.O., ve SAHMARAN, M., 2005. Kimyasal ve Mineral Katkılı Kendiliğinden Yerleşen Harçlar. I. Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyumu, 24-25 Mart, Ankara, s.137-146.

YAZİCİ, Ş., MARDANİ-AGHABAGLOU, A., 2017. Effect of aggregate grain size distribution on properties of permeable concrete. Journal of Fundamental and Applied Sciences, 9(1): 323-338.

YOSHIOKA, K.,SAKAI, E., DAMIAN, M., andKITAHARU, A., 1997. Role of steric hindrance in the performance of superplasticizers for concrete. 5th American Ceramic Society Journal, 80(10): 2667-2771.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı **:** Kübra ULUGERGER
Uyruğu **:**Türkiye Cumhuriyeti
Doğum Yeri ve Tarihi **:**Şanlıurfa, 28/03/1987
Telefon **:**0545 435 34 86
e-mail **:**kubraulugerger@hotmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı	İlçe	İl	Bitirme Yılı
Lise	Orhan Gazi Lisesi	Haliliye	Şanlıurfa	2003
Üniversite	Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi/Yapı Öğretmenliği Bölümü	Merkez	Elazığ	2009
Üniversite	Harran Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü	Osmanbey	Şanlıurfa	2014

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2013-2014	Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği ABD.	Araştırma Görevlisi
2014-Halen devam ediyor	Şanlıurfa Büyükşehir Belediyesi İmar ve Şehircilik Daire Başkanlığı KUDEM Şube Müdürlüğü	İnşaat Mühendisi

YABANCI DİLLER

Yıl	Sınav	Puan
2011	ÜDS	65.000