

HAVA SÜRÜKLEYİCİ VE UÇUCU KÜL KATKILARININ KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN  
BETONUN İŞLENEBİLİRLİĞİNE VE BASINÇ DAYANIMINA ETKİSİ

İbrahim KODAK

Kütahya Dumlupınar Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliği Uyarınca  
Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Olarak Hazırlanmıştır.

Tez Danışmanı: Dr. Öğretim Üyesi Abdullah DEMİR

Ekim – 2019

## KABUL VE ONAY SAYFASI

İbrahim KODAK tarafından hazırlanan “HAVA SÜRÜKLEYİCİ ve UÇUCU KÜL KATKILARININ KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONUN İŞLENEBİLİRLİĞİNE ve BASINÇ DAYANIMINA ETKİSİ” adlı tez çalışması, aşağıda belirtilen jüri tarafından Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek OY BİRLİĞİ ile Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

17/10/2019

Prof. Dr. Önder UYSAL  
Enstitü Müdürü, Fen Bilimleri Enstitüsü

Prof. Dr. Muhammet Çağatay KARABÖRK  
Anabilim Dalı Başkanı, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Dr. Öğr. Üyesi Abdullah DEMİR  
Danışman, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

### Sınav Komitesi Üyeleri

Dr. Öğr. Üyesi Abdullah DEMİR  
İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi

Doç. Dr. Mehmet CANBAZ  
İnşaat Mühendisliği Bölümü, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi

Doç. Dr. M. Uğur TOPRAK  
İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_


\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

## ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

Bu tezin hazırlanmasında Akademik kurallara riayet ettiğimizi, özgün bir çalışma olduğunu ve yapılan tez çalışmasının bilimsel etik ilke ve kurallara uygun olduğunu, çalışma kapsamında teze ait olmayan veriler için kaynak gösterildiğini ve kaynaklar dizininde belirtildiğini, Yüksek Öğretim Kurulu tarafından kullanılmak üzere önerilen ve Dumlupınar Üniversitesi tarafından kullanılan İntihal Programı ile tarandığını ve benzerlik oranının %26 çıktığını beyan ederiz. Aykırı bir durum ortaya çıktığı takdirde tüm hukuki sonuçlara razı olduğumuzu taahhüt ederiz.

  
Dr. Öğretim Üyesi Abdullah DEMİR

  
İbrahim KODAK

# HAVA SÜRÜKLEYİCİ VE UÇUCU KÜL KATKILARININ KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONUN İŞLENEBİLİRLİĞİNE VE BASINÇ DAYANIMINA ETKİSİ

İbrahim KODAK

İnşaat Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, 2019

Tez Danışmanı: Dr. Öğretim Üyesi Abdullah DEMİR

## ÖZET

Kendiliğinden yerleşen beton (KYB), kimyasal katkı kullanılarak yüksek akıcı kıvamda üretilen bir tür özel betondur. Bu tür betonların yerleştirilmesi daha kolay olacağı gibi, işlenebilirlikten doğan hatalar da azaltılmış olur. Daha kaliteli beton ve beton ürünlerinin elde edilmesi kolaylaşır. Bu çalışmada, KYB'nin tarihsel gelişimi, tanımı, avantajları, özellikleri ve bu özelliklerin belirlenmesi için yapılan deneyler ve kullanım alanları derlenmiştir.

Bu çalışmada laboratuvar koşullarında uçucu kül ve hava sürükleyici katkı maddelerinin kendiliğinden yerleşen betonun basınç dayanımı ve işlenebilirliği üzerine etkisi incelenmiştir. Kendiliğinden yerleşen beton (KYB) teknolojisinde akışkanlık ve stabilitenin bir arada sağlanabilmesi için yeni nesil polikarboksilat bazlı hiperakışkanlaştırıcılar ile birlikte puzolonik ve inert mineral katkıları veya viskozite artırıcı kimyasal katkıları kullanılabilir.

Kendiliğinden yerleşen beton üretiminde dozaja ilave olarak %10-20-30 uçucu kül katkısı ve %0,1 oranında hava sürükleyici katkısı eklenerek seriler oluşturulmuştur. Sonrasında oluşturulan serilerde taze beton deneyleri yapılmıştır, 7 ve 28 gün sonrasında da sertleşmiş beton deneyleri yapılmıştır. Ulaşılan sonuçlar detaylı bir çalışma ile ifade edilmiş ve değerlendirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Hava sürükleyici, Kendiliğinden yerleşen beton, Uçucu kül, Basınç dayanımı, İşlenebilirlik.

## **EFFECT OF FLY ASH AND AIR-ENTRAINING ADMIXTURES ON WORKABILITY AND COMPRESSIVE STRENGTH OF SELF-COMPACTING CONCRETES**

İbrahim KODAK

Civil Engineering, M. Sc. Thesis, 2019

Thesis Supervisor: Assist. Prof. Dr. Abdullah DEMİR

### **SUMMARY**

Self-compacting concrete (SCC), is a type of special concrete which is produced in high flowable consistency by using chemical additives. As it is easier to replace such type of concretes, errors caused by workability are reduced by this way. More qualified concrete and concrete products thus become easily derivable. Within this study, historical development of SCC, its definition, advantages, characteristics, experiments to determine these characteristics and use of area are compiled.

In this study, experiments on the workability of SCC ve compressive strength of fly ashes and air entraining admixture over SCC are examined under laboratory conditions. In SCC technology, in order to derive fluidity and stability at once, new generation polycarboxylate based hyper fluidifiers with pozzolanic and inert mineral additives or viscosity-increasing chemical agents can be used.

In the production phase of Self Compacting Concrete, in order to make series, as an addition to the dosage, 10-20-30 % fly ashes additives and 0.1% air entraining agent are added. Thereafter, fresh concrete experiments have been conducted in those series. After 7 and 28 days hardened concrete experiments have been done. The results have been stated by a detailed study and evaluated as well.

**Keywords:** Air entrainment, Self compacting concrete, Fly ash, Compressive strength, Workability

## TEŞEKKÜR

Tezimin sonuçlanmasında bana sınırsız destek veren ve yardımcı olan danışmanım Dr. Öğretim Üyesi Abdullah Demir'e, beni her daim destekleyen aileme, laboratuvar personellerine, emeklerini ve desteklerini esirgemeyen tüm dostlarıma teşekkür ederim.



## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET .....	v
SUMMARY .....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	xii
1. GİRİŞ .....	1
2. YAPILAN ÇALIŞMANIN AMACI.....	4
3. LİTERATÜR ÇALIŞMALARI.....	5
3.1. Kendiliğinden Yerleşen Beton Kavramı.....	5
3.1.1. Kendiliğinden yerleşen beton.....	7
3.2. Kendiliğinden Yerleşen Betonun İçeriği .....	9
3.2.1. Kendiliğinden yerleşen betonun ana bileşenleri .....	10
3.2.2. Kendiliğinden yerleşen betonun üretim süreci.....	10
3.3. Kendiliğinden Yerleşen Betona Uçucu Kül Katkısı .....	10
3.4. Kimyasal Katkıların Beton Özellikleri Üzerine Etkileri .....	12
3.5. Hava Sürükleyicilerin Tanımı .....	15
3.6. Beton İçerisinde Uçucu Kül ve Hava Sürükleyiciler .....	16
3.7. Kendiliğinden Yerleşen Betonda Uçucu Kül ve Hava Sürükleyicilerin Basınç Dayanımına Etkisi.....	18
3.8. Kendiliğinden Yerleşen Betonda Uçucu Kül ve Hava Sürükleyicilerin İşlenebilirliğe Etkisi .....	19
4. DENEYSEL ÇALIŞMA .....	20
4.1. Üretimde Kullanılan Malzemeler.....	20
4.1.1. Çimento.....	20
4.1.2. Su .....	21
4.1.3. Agregalar.....	21
4.1.4. Uçucu kül.....	22
4.1.5. Hava sürükleyiciler .....	23
4.1.6. Hiperakışkanlaştırıcı .....	24
4.2. Numune Hazırlanması ve Yapılan Deneyler .....	25

## İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
4.2.1. Karışım oranları .....	25
4.2.2. Karışımın hazırlanması .....	26
4.2.3. Kendiliğinden yerleşen beton da taze beton deneyleri.....	27
4.2.4. Sertleşmiş beton deneyleri .....	32
5. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ ve İRDELENMESİ.....	38
5.1. Taze KYB Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi ve İrdelenmesi.....	38
5.1.1. Çökme-yayıma deney sonuçlarının değerlendirilmesi ve irdelenmesi .....	38
5.1.2. L Kutusu deney sonuçlarının değerlendirilmesi ve irdelenmesi .....	39
5.1.3. V Hunisi deney sonuçlarının değerlendirilmesi ve irdelenmesi.....	40
5.1.4. U Kutusu Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi ve irdelenmesi .....	41
5.2. Sertleşmiş KYB Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi ve irdelenmesi.....	41
5.2.1. Sertleşmiş KYB’de birim ağırlık deney sonuçlarının değerlendirilmesi ve irdelenmesi.....	42
5.2.2. Sertleşmiş KYB’de ultrases geçiş hızı deney sonuçlarının değerlendirilmesi ve irdelenmesi.....	43
5.2.3. Sertleşmiş KYB’de dinamik elastisite modülü sonuçlarının değerlendirilmesi ve irdelenmesi.....	44
5.2.4. Sertleşmiş KYB’ de yüzey sertliği deney sonuçlarının değerlendirilmesi ve irdelenmesi.....	45
5.2.5. Sertleşmiş KYB’de basınç dayanımı deney sonuçlarının değerlendirilmesi ve irdelenmesi.....	46
5.2.6. Sertleşmiş KYB’de yarmada çekme dayanımı deney sonuçlarının değerlendirilmesi ve irdelenmesi .....	47
4.2.7. Sertleşmiş KYB’ de eğilme dayanımı deney sonuçlarının değerlendirilmesi ve irdelenmesi.....	48
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	49
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	51
ÖZGEÇMİŞ	



## ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.1. Deneyde kullanılan agrega karışımının granülmetri eğrisi .....	22
4.2. Karışımda kullanılacak malzemelerin ölçümü.....	26
4.3. Betonun karışma hali .....	26
4.4. Çökme yayılma deneyi ekipmanları boyutları .....	27
4.5. Çökme yayılma deneyi uygulaması .....	28
4.6. L Kutusu deneyi ekipmanları boyutları.....	28
4.7. L Kutusu geçiş süresi deneyi uygulaması .....	29
4.8. L Kutusu geçiş süresi deneyi uygulaması – 2 .....	29
4.9. U Kutusu deneyi ekipmanları boyutları .....	30
4.10. U Kutusu geçiş süresi deneyi uygulaması.....	30
4.11. U Kutusu geçiş süresi deneyi uygulaması – 2.....	31
4.12. V Kutusu deneyi ekipmanları boyutları .....	31
4.13. V Kutusu geçiş süresi deneyi uygulaması .....	32
4.14. Birim ağırlıkların belirlenmesi ve numunelerin kürden alınması .....	33
4.15. Ultrases geçiş hızı deneyi.....	34
4.16. Yüzey sertliği deneyi.....	34
4.17. Basınç dayanımı deneyi .....	35
4.18. Yarmada çekme dayanımı deneyi.....	36
4.19. Eğilme dayanımı deneyi.....	37
5.1. Taze KYB’de çökmede yayılma deneyi yayılma çapları .....	38
5.2. Taze KYB’de L kutusu h1/h2 oranları .....	39
5.3. Taze KYB’ de V hunisi akma süreleri.....	40
5.4. Taze KYB’ de U hunisi akma süreleri.....	41
5.5. Sertleşmiş KYB’ de numune birim ağırlık deney sonuçları.....	42
5.6. Sertleşmiş KYB’ de ultrases geçiş hızı deney sonuçları .....	43
5.7. Sertleşmiş KYB’ de dinamik elastisite modülü deney sonuçları.....	44
5.8. Sertleşmiş KYB’ de yüzey sertliği deney sonuçları .....	45
5.9. Sertleşmiş KYB’ de basınç dayanımı deney sonuçları.....	46
5.10. Sertleşmiş KYB’ de yarmada çekme dayanımı deney sonuçları.....	47
5.11. Sertleşmiş KYB’ de eğilme dayanımı deney sonuçları .....	48

## ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
3.1. KYB’de taze beton özelliklerini belirleme yöntemleri .....	9
3.2. EFNARC (2002)’a göre önerilen KYB deney sınır değerleri.....	9
4.1. Deneyde kullanılan CEM I 42.5 çimentosunun özellikleri .....	20
4.2. Deneyde kullanılan suyun kimyasal özellikleri. ....	21
4.3. Deneyde kullanılan agregaların elek analizleri .....	22
4.4. Deneyde kullanılan uçucu külün kimyasal özellikleri .....	23
4.5. Deneyde kullanılan hava sürükleyicinin özellikleri .....	24
4.6. Deneyde kullanılan hiperakışkanlaştırıcının teknik özellikleri .....	24
4.6. Deneyde kullanılan hiperakışkanlaştırıcının teknik özellikleri .....	24

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### Simgeler

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
A	Kesit alanı
B	Taban kesiti
D	Çap
F	Kırılma yükü
H	Yükseklik
L	Numune uzunluğu
N	Newton
t	Geçiş süresi
P	Kırılma yükü
V	Geçiş hızı
$\sigma$	Dayanım

### Kısaltmalar

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
CEMBUREU	Avrupa çimento birliği
C-S-H	Kalsiyum Silikat Hidrat
Ç	Çimento
EFCA	Avrupa Katkı Üreticileri Federasyonu
EFNARC	Avrupa yapı ve beton sistemleri uzmanları
ERMCO	Avrupa hazır beton birliği
HA	Hiperakışkanlaştırıcı
HS	Hava sürükleyici
KÜB	Katkı Üreticileri Birliği
KYB	Kendiliğinden yerleşen beton
UK	Uçucu Kül
VAK	Viskozite artırıcı katkıları
YDB	Yüksek dayanımlı beton

## 1. GİRİŞ

KYB kullanıcıya hem dayanım hem de dayanıklılık açısından avantajlar sağlamakta, sıkıştırma işçiliğinin yetersizliğinden veya kalitesizliğinden kaynaklanan problemleri tümüyle ortadan kaldırmaktadır. KYB kullanımı inşaat süresini kısaltmakta ve iş yükünü azaltmakta, dolayısıyla maliyetten önemli tasarruflar sağlamaktadır. Tüm bu avantajları dikkate alındığında KYB pek çok araştırmacının ortak görüşüyle geleceğin betonu olarak kabul edilmektedir (Türkel ve Felekoğlu, 2005).

Beton içerisinde kullanılmakta olan uçucu küller mineral katkı olarak kullanılan bir puzolan olarak tanımlanır. Uçucu küller çoğunlukla kendi başlarına bağlayıcı olarak görülmemektedir ve sönmüş kireç ile hidrasyon sonucunda reaksiyona giderek suda sertleşmektedir. Elektrik üretimi yapılan termik santrallerden uçucu küller sağlanmaktadır. Genellikle endüstride kullanılmamakta olup düşük kalorili olan kömürlerin çok ince şekilde öğütülmesi sonucunda termik santral fırın içerisinde yakılması sırasında yukarıya yükselen uçucu küller, bacaların üst kısmında bulunan elektro filtreler ya da siklon adı verilen toz tutucular içerisinde elektrostatik ya da mekanik yöntemlerle tutularak depolanmaktadır. Küllerin parçacıklarının küresel olarak çaplarının 1-300 mikronmetre olarak görülmektedir (Kocataşkın, 1987).

Beton teknolojisinde uçucu küller doğrudan çimento ile birlikte betona katılarak veya betondaki kum ile yer değiştirme yapılarak da kullanılabilir. Çimento üretimi yapılırken uçucu kül klinkere eklenip öğütme işlemi yapılarak uçucu küllü çimento olarak da değerlendirilir. Çimento üretiminde uçucu küller kum yerine kullanıldığında özgül yüzey de artma meydana gelirse kum malzemesinden çok az tasarruf edilmiş olur. Uçucu küllerin özelliklerinden dolayı bunların çimento yerine kullanılması daha fazla yararlı ve avantajlı olacağı görülmektedir. Uçucu küller büyük bir özgül yüzey ve daha inceliğe sahip oldukları için bağlayıcı hacminin artmasını sağlamaktadır. Literatürde incelenen araştırmalarda ağırlıkça %20 oranında uçucu kül kullanımının beton basınç dayanımı açısından olumlu sonuçlar verdiği görülmektedir (Sümer, 1994). Beton üretiminde uçucu kül kullanılması sonucunda betonun erken yaştaki basınç ve eğilme dayanımlarının düştüğü, bunun sonucunda da prizinin geciktiği sonucuna ulaşılmaktadır (Li, vd., 2002).

Uçucu kül katkılı olan beton küçük danelerden oluştuğu için düzgün bir yüzeye sahiptir. Uçucu küllerin birim ağırlıkları düşük olduğu için betonun birim ağırlığında azalmaya neden olmaktadır. Uçucu kül katkılı olan betonlarda hidrasyon ısısı düşük olmasından dolayı rötre ve

çatlama oluşmamaktadır. Dolayısıyla bu betonların kütle betonlar için uygun olduğu görülmektedir (Naik, vd., 2002).

Uçucu küller küresel bir yapıya sahiptir. Bu nedenle uçucu küller su gereksinimini arttırmamaktadır. Beton içerisinde kullanılan uçucu kül katkı malzemesi sulu ortam içerisinde kireci bağlamaktadır. Bu nedenle betonu dış etkilere karşı daha dayanıklı yapmaktadır, betonun su geçirimsizliğini de azaltmaktadır. Betonda katkı malzemesi olarak kullanılan uçucu kül, toprak stabilizasyonu, gaz beton üretimi ve tuğla üretiminde kullanılabilir (Temiz ve Yeğinobalı, 1995). Uçucu küllü betonlarda kür sıcaklığının artırılması sonucunda basınç dayanımının iyileştiği, birim ağırlıklarının düştüğü buna bağlı olarak da hacimce su emmelerde artışa neden olduğu görülmektedir.

Hava sürükleyiciler bu sektör de uzun yıllardır kullanılmakta olup katkı maddesi olarak tanımlanmış ve beton üretimi esnasında karışıma eklenmektedir. Bu katkıların yüzey gerilimini azaltarak, beton içerisindeki hava boşluklarının birbirleriyle birleşmesini engeller. Böylelikle beton içerisindeki daha ufak hava boşlukları beton içerisinde kalmış olur ve bunu sağlar. Bahsedilen bu ufak boşlukların boyutu 1mm'den küçük olduğu bilinmektedir.

Hava sürükleyici katkı maddelerinin bir kimyasal grup olan sürfaktantın içerisinde. Moleküllerin bir ucunun hidrofil olduğu, artı ya da eksi elektrik yükü taşıdığı belirlenmiştir. Diğer ucunun suyla karışmadığı ve hidrofobik olduğu görülmektedir. Hava sürükleyicilerin katkıları değişik hammaddelerin birleşmesinden meydana gelmektedir. Burada kullanılan başlıca hammaddeler;

- Ağaç reçinesi tuzları,
- Sentetik deterjan,
- Linyosülfonatlar,
- Asitli tuzlar,
- Proteinli tuzlar,
- Yağlı ve reçineli tuzlar,
- Sülfonatlı hidrokarbon tuzları (Kevorkian, 2006).

Bu katkı maddelerinin hava boşlukları üzerinde farklı etkileri görülmektedir. Örnek olarak katkı maddelerinin isimleri, cinsleri, karışımdaki miktarları, karışımdaki farklı katkı maddelerle olan senkronu ve karışma zamanı, yayılımı ve boşlukların tane boyutunu belirlemektedir. Asıl olması istenen bahsedilen ufak boşlukların homojen bir dağılma ile beton içerisinde kalmasıdır.

Hava sürükleyiciler, dairesel şekillerinden dolayı betonun işlenebilirliğini yükseltmektedir. Bu sebeple belirlenenden daha az s/ç oranı elde edilmiş olur. Bu durum sağlandığında daha büyük mukavemet ve durabilite sağlanmış olur. Oluşan reaksiyonlar sonucu genişleme oluşarak betonun sülfata karşı direncini arttırmaktadır (Kosmatka vd., 2002).



## 2. YAPILAN ÇALIŞMANIN AMACI

KYB'nin sahip olduğu özelliklerden en önemlileri ayrışmaya karşı direnci ve doldurma yeteneğidir. Bu özellikleri sağlamak amacıyla mineral katkısı olarak uçucu kül malzemesinin iyi bir seçim olduğu düşünülmüştür. Uçucu kül, dairesel tanecikli yapısı ile doldurma özelliğini ve yerleşebilmeyi artırarak dayanıma olumlu katkı sağlamaktadır.

Günümüzde KYB kullanımı hızla yaygınlaşmaktadır. KYB'nin taze ve sertleşmiş haldeki özellikleri üzerinde akademik çalışmalar devam etmektedir. Bu çalışmada KYB'nin taze haldeki özellikleri incelemek ve iyileştirmek amacı ile %10, %20 ve %30 oranlarında uçucu kül kullanılmıştır. Uçucu külün dayanıma etkisini incelemek için kür süreleri 7 ve 28 gün olarak belirlenmiştir. Hava sürükleyici katkısı %0,1 oranında kullanılmış olup beton üzerindeki etkileri incelenmiş ve nasıl avantajlar sağlayacağı irdelenmiştir.

Bu amaçla uçucu kül ve hava sürükleyici içeren numuneler yapılan deneyler sonucunda kontrol numunesine göre dayanım ve işlenebilirlik açısından incelenmiştir.

### 3. LİTERATÜR ÇALIŞMALARI

#### 3.1. Kendiliğinden Yerleşen Beton Kavramı

Beton; çimento, su, agrega ve kimyasal veya mineral katkı maddelerinin homojen olarak karıştırılmasından oluşan ilk olarak plastik kıvamda görülen, şekillendirilebilen, zamanla katılaşp sertleşerek dayanım kazanan bir yapı malzemesi olarak tanımlanır (İMO, 2019).

Kendiliğinden yerleşen beton karışım oranlarının tespitinde yüzey alanı, incelik modülü, boşlukların oranı, su/çimento oranı, çimento muhtevası metodu gibi birçok metot kullanılmaktadır.

Oranlama metodu denilen gerçekçi olan yöntemde deney karışımlarında su/çimento oranı sabit tutulmaktadır. İstenilen beton kıvamındaki agrega miktarından beton karışım oranları bulunmaktadır. Bilindiği üzere su/çimento oranı, betonun tüm özelliklerini etkileyen en önemli faktör olarak görülmektedir.

Kullanılan birçok metot içerisinde beton üretimi için 1 m<sup>3</sup> de gerekli çimento ve agrega miktarı belirlenmektedir. Bu durumda agrega miktarı sabit, çimento ve su miktarı ise değişkendir. Bazı şartnamelerde istenildiği üzere çimento miktarı sabit tutulmaktadır. Sadece su miktarı, su/çimento oranı ve çökme değeri değişkendir ve beton kalitesi su miktarına bağlı bir değişken haline gelmektedir. Beton kalitesinin de su miktarına bağlı bir değişken haline geldiği görülmektedir.

Beton karışım oranlarının tespiti için ele alınan yöntemde;

1. Karışımın su ve çimento miktarı, dolayısıyla su/çimento oranı sabit tutularak çökme değeri sadece kullanılan agrega miktarı ile değiştirilmektedir.
  - a) Karışımlarda işlenebilirlik ve ekonomi göz önünde bulundurularak karışıma katılan agrega miktarının tespit edildiği görülmektedir.
  - b) Su/çimento oranı sabit ve agreganın en fazla kullanılabildiği bir karışım optimum karışım olarak belirlenmektedir.
  - c) Su azaltıcı kimyasal katkı malzemeleri çimento şerbetinin akışkanlığını arttıracığından daha fazla agrega kullanma imkanı sağlanılmaktadır.
  - d) Su/çimento oranının azaltılması, akışkanlığını azaltacağından ilave agrega miktarı da azalmaktadır.



e) İşlenebilirliği etkileyen her değişken tespit edilerek ve sonuçta ekonomi sağlamaktadır (Artırma, 2016).

Kendiliğinden yerleşen beton; akışkanlık özelliği yüksek olan ve yerleşme özelliği çok iyi olan beton olarak kısaca açıklanabilir. Üiform beton dayanımını garanti eder ve minimum beton boşlukları olacak şekilde özelliği bilinmektedir. Kendiliğinden yerleşen beton; genellikle erken yaşta yüksek dayanım sağlamaktadır. Kendiliğinden yerleşen betonun avantajları şu şekilde sıralanmaktadır. Bunlar;

- Daha az su/çimento oranı ile üretilmesi,
- Daha kısa sürede kalıbın sökülmesi,
- Yapıların daha hızlı kullanımına imkan sağlanmasıdır.

Kendiliğinden yerleşen beton, geleneksel beton ile karşılaştırması yapılarak farklılıklar şu şekilde belirlenmiştir. Bunlar;

- Kendiliğinden yerleşen betonların akıcı olma özelliği bulunmaktadır.
- Kendiliğinden yerleşen betonlar minimum işçilik gerektirmektedir.
- Kendiliğinden yerleşen betonlar, normal betonlara göre ekonomiktir.
- Kendiliğinden yerleşen betonlar; normal betonlara göre hızlı bir şekilde uygulanmaktadırlar.
- Kendiliğinden yerleşen betonlar, normal betonlara göre gürültü kirliliğine engel olmaktadır.
- Kendiliğinden yerleşen betonlar; normal betona göre çok daha sık donatı aralarında ayrışma oluşmadan kalıpta dolumu sağlamaktadır.
- Kendiliğinden yerleşen betonlar, hiçbir vibrasyona ihtiyaç duymadan bütün kalıp çeşitlerine kendi ile doldurma ve yerleşme sağlanmaktadır.
- Kendiliğinden yerleşen betonlarda daha iyi sonuçlar elde edilmektedir.

Güçlendirme projelerinde kendiliğinden yerleşen betonun kullanılmasının avantajlı olduğu görülmektedir. Dar kalıplarda ulaşılması zor bölgelere betonun eşit bir şekilde yayılabilmesi bu tip betonların kullanılması avantaj sağlamaktadır.

Kendiliğinden yerleşen beton üretiminde yeni nesil kimyasal katkıların kullanılmakta olduğu görülmektedir. Kimyasal katkı içeriği ve taze beton sıcaklığı en uygun seviyede kullanılmadığı takdirde, taze ve sertleşmiş beton özelliklerinin etkileneceği görülmektedir.

Dayanım ve dayanıklılığı daha yüksek, aynı zamanda daha düzgün yüzeyli bir beton elde edebilmek için vibrasyon uygulanması gerekir. Vibrasyon uygulanmayan betonların basınç dayanımı boşluklu bir yapı oluşacağı için vibrasyon uygulanmış olan betonlara göre daha düşük olacaktır. Yeterli vibrasyon yapılmayan beton elemanların yüzeyinin de düzgün olmadığı görülmektedir. Yapıların depreme karşı güçlendirilebilmesi için yapılmış olan projelerde tüm bu etkenlere dar beton kesitleri ve sık donatı eklenince vibrasyon uygulamasının daha zor bazı durumlarda da imkansız hale geldiği görülmektedir. Kendiliğinden yerleşen beton kendiliğinden sıkışma yeteneğinden dolayı vibrasyon gerektirmemektedir. Vibrasyonla yaşanan tüm olumsuz etkenlerin ortadan kalkmasını sağlamaktadır. Bu şekilde işçilik ve zamandan tasarruf sağlamaktadır. Bunun yanında çevrede meydana gelen gürültü kirliliğinde azalma olmuştur. Kendiliğinden yerleşen betonların kullanım alanları aşağıdaki şekilde sıralanmaktadır. Bunlar;

- Güçlendirme projeleri,
- Sık donatı elemanları,
- Estetik kalıp tasarımları,
- Zor ve ulaşılmaz kalıplar,
- Vibratör kullanımının imkansız olduğu yerler (Kılınç, 2012).

### **3.1.1. Kendiliğinden yerleşen beton**

KYB, kendi ağırlığı ile sık donatılı dar ve derin kesitlere yerleşebilen, iç veya dış vibrasyon gerektirmeksizin kendiliğinden sıkışabilen, bu özelliklerini sağlarken, ayrışma ve terleme gibi problemler yaratmayacak kohezyonu (stabilitesini) koruyabilen, çok akıcı kıvamlı özel bir beton türüdür (Felekoğlu, 2003).

KYB'ler ilk olarak 1988 yılında Japonya'da betonarme yapılar oluşturmak amacı ile geliştirilmiştir. KYB üzerine ilk çalışma Profesör Hajime Okamura tarafından yapılmıştır. KYB üzerine yazılan ilk bildiri 1989'da Ozawa tarafından Doğu Asya ve Pasifik Yapı Mühendisliği Konferansında sunulmuştur. Aynı bildirinin 1992'de İstanbul'daki CANMET & ACI Uluslararası Konferansında sunulması KYB kavramının dünyaya yayılmasını hızlandırmıştır. 1994'de Bangkok'daki ACI çalıştayından sonra KYB, dünyadaki araştırmacıların ve

mühendislerin ilgi odağı haline gelmiştir. 1996'da New Orleans'da ACI Sonbahar Kongresinde KYB, Amerika ve Kanada'da da iyice yaygın hale geldi. 1997 yılından sonra Avrupa Birliği de KYB kullanımını arttırmayı hedefleyen çalışmalar başlatmıştır; sonuç olarak KYB üzerine dünya ölçeğinde araştırmalar başlamış oldu (Okamura ve Ouchi, 1999; Bouzouba ve Lacleme 2001; Walraven, 2003).

İlk olarak dünyada kendiliğinden yerleşen beton imalatı 1980'lerin başında İtalya'nın San Marco da sualtı temel betonu olarak yapılmıştır (Collepari, 2001).

KYB'nin ilk kullanım alanı donatıların fazla olduğu ve vibratörün uzanamadığı yerler için üretimi düşünülmüştür. Daha sonra yüksekliğin çokça fazla olduğu betonarme perde imalatında ve güçlendirme yapılması gereken yerlerde kullanılmaya başlanmıştır (Özkul vd., 2002).

KYB'de taze betonu sıkıştırma uygulaması yok olacak, böylece vibratör kullanırken geçen zaman ve enerji kayıplarından tasarruf edilmiş olup ortadan kalkmış olacaktır. Vibratör kullanırken çevreye verdiği yüksek ses önlenecektir. KYB'nin en önemli avantajlarından bir diğeri de işçilik azalırken beton imalat hızı arttırmasıdır. Bir yapıda döşeme ve düşey elemanların imalatının yapılması geleneksel betonla üretimine göre KYB kullanıldığında % 20 oranında daha kısa sürede tamamlandığı belirtilmiştir. KYB'de kimyasal katkı maddelerinin kullanılmasıyla, özellikle prefabrike sektöründe erken kalıp alınabilmesi için buhar kürü uygulaması söz konusu olmayacaktır (Walraven, 2003; Semioli, 2002; Corradi vd., 2002).

KYB'de amaç; sınırlı iri agrega miktarı, hiperakışkanlaştırıcı ile birlikte akıcılık özelliği çok iyi olacak şekilde gerçekleştirilirken, sınırlı iri agrega ile ayrışma direnci olanağı sağlayan bir beton üretmektir (Skarendahl ve Petersson, 2000).

Kendiliğinden yerleşen betonun bileşenleri normal betondan ayırt edici farkı daha ince malzemedir. Bu ince malzemeler genel olarak betonda kullanımı ispatlanmış olan uçucu kül, silis dumanı ve mermer tozu gibi atık malzemelerdir (Sahmaran vd., 2006; Topçu vd., 2007).

Bir betona KYB söylenebilmesi için bazı özelliklerin ölçülmesi ve yapılan ölçümlerin belirli aralıklarda olması gerekir. Bu özellikler; doldurma kabiliyeti, geçme kabiliyeti ve ayrışmaya karşı dirençtir (Topçu, 2006).

Taze haldeki betonların işlenebilirlik açısından incelenmesinde, klasik işlenebilirlik özelliğinin inceleyen deneyler yetersiz kalmaktadır. İşlenebilirliği ölçmek için farklı deney yöntemleri geliştirilmiştir. Bu deney yöntemleri; çökme-yayılma (Slump-Flow) deneyi, V hunisi deneyi, U kutusu deneyi, L kutusu deneyi, doldurma kutusu, J halkası ve elek ayrışma deneyidir.

EFNARC (2002) KYB’de taze beton özelliklerini belirleme yöntemlerini Çizelge 3.1’de verilmiştir. EFNARC (2002)’a göre tavsiye edilen KYB deney sınır değerleri ise Çizelge 3.2’de gösterilmiştir.

**Çizelge 3.1.** KYB’de taze beton özelliklerini belirleme yöntemleri (EFNARC, 2002).

Ölçülecek Özellik	Deneyleler
Doldurma Yeteneği	Çökmede yayılma
	T500 çapa ulaşma süresi
	V-kutusu akış süresi
Geçebilme Yeteneği	L-kutusu
	U-kutusu
	Doldurma kutusu
	J-halkası
Ayrışmaya Karşı Direnç	T 5dk da V-kutusu akış süresi
	Elek ayrışma deneyi (GTM)

**Çizelge 3.2.** EFNARC (2002)’a göre önerilen KYB deney sınır değerleri (EFNARC, 2002).

No	Yöntem	Birim	Sınır Değer	
			En küçük	En Büyük
1	Çökme ve yayılma	mm	650	800
2	T500	sn	2	5
3	J-halkası	mm	0	10
4	V-hunisi	sn	6	12
5	5 dk. Sonra V-hunisi	sn	0	3
6	L-kutusu	h2/h1	0,8	1
7	U-kutusu	(h2-h1)mm	0	30
8	GTM Stabilite	%	0	15
9	Orimet	sn	0	5

### 3.2. Kendiliğinden Yerleşen Betonun İçeriği

Kendiliğinden yerleşen betonlar iki ana başlık altında incelenmektedir. Bu başlıklar; betonun ana bileşenleri ile betonun üretim süreci başlıkları içerisinde açıklanarak yorumlanmaktadır.

### 3.2.1. Kendiliğinden yerleşen betonun ana bileşenleri

KYB ve geleneksel beton tasarımı içerisinde kullanılan malzemeler temelde aynı olarak görülmektedir. İki betonun da üretiminde kullanılan malzemelerin miktarları (iri ve ince agregaya) hacimce bazı farklılıklar gösterdiği görülmektedir. Geleneksel beton üretiminde agregaya hacmi, toplam beton hacminin %75-80'lerine ulaştığı görülmektedir. KYB'de yüksek akış kabiliyetinin sağlanması amacıyla agregaya hacminin azaldığı görülmektedir. Hamur hacminin farklı toz maddelerinin ilavesi ile artırıldığı tespit edilmiştir. Bu durumda agregaların birbirine temas etmesi yoluyla sıklaşma özelliğinin azaldığı görülmektedir (Türkel ve Felekoğlu, 2012).

Kendiliğinden yerleşen betonda geleneksel betondan farklı olarak kum oranının arttığı buna karşılıklı iri agregaya miktarının azaltıldığı görülmektedir. 0,125 mm elek altında kalan agregaların ince malzeme miktarına ilave edildiği görülmektedir (Sağlam vd., 2004). Kendiliğinden yerleşen beton içerisinde kullanılacak agregaya gradasyonu mümkün olduğunca ince seçilmesi gerekmektedir.

### 3.2.2. Kendiliğinden yerleşen betonun üretim süreci

Kaliteli bir betonun üretim sürecinde iklim şartlarının büyük önem taşıdığı görülmektedir. Önce hazır betonun üretiminde kullanılacak doğru seçilmiş malzemelerin kaliteleri ve birbirlerine uyumunun incelenmesi için laboratuvar deneylerinin yapılması gerekmektedir.

Bu deneylerden geçen malzemelerde zamanla olumsuz değişiklikler meydana gelmesinin önlenmesi için sürekli kalite denetiminin yapılması gerekmektedir. Betonun üretim sürecinde santral operatörünün üretilen betonu tanımlayan formülün numarasını belirleyerek, bilgisayar sistemini işletmesiyle başlamaktadır. İlk komuttan sonra, aynı bölmelerde stoklanmış agregaya, çimento ve su aynı anda tartılmıştır. Daha sonra tartılmış agregaya bant veya kovasıyla taşınarak mikser kazanına aktarılmaktadır. Bu sırada çimento, su ve formülde varsa kimyasal katkı maddesi de kazana aktarılarak, karıştırılmaktadır. Bu şekilde betonun üretim süreci de tamamlanmış olmaktadır.

### 3.3. Kendiliğinden Yerleşen Betona Uçucu Kül Katkısı

Doğal bağlayıcılık özelliği yok denilecek kadar az veya hiç olmayan fakat uygun rutubet şartlarında ve normal ortam sıcaklığında serbest kireç ve kalsiyum hidroksit ile reaksiyona girip bağlayıcılık özelliği olan ürünler oluşturan puzolanların (ASTM, 1985), beton üretiminde mineral katkı maddeleri olarak en yaygın kullanılanı uçucu küllerdir. Yapay bir

puzolan olan uçucu küller termik santraller de kullanılan düşük kalorili öğütülmüş kömürün yakılması sonucu oluşan baca gazlarının filtrelenmesi sonucunda toz toplama sistemi ile elde edilir (Helmuth, 1987).

Uçucu külün özellikleri kömürün özelliklerine ve yakılma yöntemine bağlı olarak farklılıklar gösterir. İnce ve küresel taneleri dolayısıyla taze betonda işlenebilmeyi artırır, ayrıca hidrasyon ısısını azaltır. Çimento hidrasyonu sonucu oluşan kalsiyum hidroksitle reaksiyona girerek ilave bağlayıcı jel oluşturur, çimento hamurundaki boşlukları doldurur ve betona dayanıklılık kazandırır (Türker vd., 2007).

Avrupa’da uçucu kül üretimi yapan termik santrallerin tamamı çimento fabrikaları tarafından kendi bünyelerine alınmıştır. Türkiye’deki termik santrallerin büyük çoğunluğu uçucu küllerin katkı maddesi olarak kullanılmasının TS EN 450’ ye göre uygun olmadığını belirtmiştir. Seyitömer, Çatalağzı, Tunçbilek ve Soma santrallerinden çıkarılan uçucu küller seperasyona tabii tutularak kullanılabilir. .

Uçucu küllerin tane boyutları 1-200 um arasında olup yapısı küreseldir. Uçucu küllerin kimyasal karakterini %85’i  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ve  $\text{CaO}$  oluşturmaktadır. Yüksek ısıdan dolayı dekompoze edilir. .

Uçucu külün çimentoda kullanılması tane boyutu ile orantılıdır. Uçucu kül kullanılarak üretilen betonların hidrasyon ısılarında düşüş, dayanımında ve işlenebilirliğinde ise yükselme olmaktadır. Beton santrallerinde CEM I ile farklı reçeteler oluşturulup kısa sürede uçucu kül kullanılmasına başlanılmaktadır. Uçucu kül betonda kullanılırsa;

- a. Dayanımı portland çimentoya göre daha yüksektir ve bu dayanımdaki yükselme yaklaşık olarak 350 ile 400 güne kadar devam eder.
- b. Boşlukları doldurma özelliği olduğu için kalıp içinde donatı korozyonunun önüne geçer.
- c. Hidrasyon ısısını azalttığından dolayı rötne çatlaklarının oluşmamasını sağlar.
- d. Betonda çok yüksek oranda geçirimsizlik sağlamaktadır.
- e. Betondaki su ihtiyacını azaltır.
- f. İşlenebilmesi oranı fazlaca artış gösterir.
- g. Kullanılan işletmede beton pompalama çok daha kolaylaşır çalışmayı ve rahatlatır.

h. Betonda oluşacak büzüşmelerin önüne geçer ve oluşmasını engeller.

i. Betonda oluşacak kusmaları ve ayrışmaları önler.

Beton içerisinde kullanılması, eklenmesi ve saklanması tam olarak çimento gibidir. Belirli oranlarda çimento yerine de kullanılabileceği gibi, ince agrega olarak işlem görebilir. Hem ince agrega, hem de çimento yerine kullanıldığında en iyi sonuç alındığı tespit edilmiştir, Ayrıca uçucu kül;

a) Tuğla üretimlerinde

b) Gazbeton üretimlerinde

c) Enjeksiyon betonlarında

d) Zemin stabilizasyonunda

### 3.4. Kimyasal Katkıların Beton Özellikleri Üzerine Etkileri

İnsanların yapı teknolojisi içerisinde bağlayıcı madde kullanmasıyla beraber kimyasal katkı araştırmasının hemen hemen eş zamanlı olduğu görülmektedir. Örneğin; çok hızlı şekilde sertleşen alçıya geciktirici olarak sirke ilavesi ve kirecin sertleşmesini hızlandırmak amacıyla idrar yani üre tatbiki yapılmaktadır. Aynı durum doğal olarak çimento konusunda da bulunmaktadır. Çimentonun icadı 1824'lü yıllara dayanmaktadır. Kimyager araştırmacılar on dokuzuncu yüzyılın sonlarından yirminci yüzyılın başlarına kadar daha çok çimento kimyası üzerine yoğunlaşmışlardır.

Yirminci yüzyılın başlarında beton araştırmacıları betonun iki ana işlevinin işlenebilme, dayanım ve dayanımı etkileyen faktörün su/çimento olduğunun bilincindeydiler. Üçüncü ana işlev olan dayanıklılık yani durabilitenin pek dikkate alınmadığı görülmektedir. Suyu arttırınca betonun kolay işlenebileceği, ancak dayanımın düşeceği, dayanımın düşmemesi için çimentonun arttırılması gerektiği düşünülmektedir. Bu şekilde çözümün ekonomik olmaktan çıktığı görülmektedir. Bu yüzden suyun arttırılmadan işlenebilmesini düzelten bir katkı maddesi bulunması gerekmektedir. Su azalınca su/çimento oranı da dayanım açısından sabit tutulunca beton daha az çimento sarf ederek üretilebilmektedir ve bu ekonomi sağlamaktadır. Bu mantık akışkanlaştırıcı katkıların bulunmasının icat edilmesinin ana nedeni olarak görülmektedir (İMO, 2005).

Bu katkı maddeleri genellikle beton üretiminde kullanılan suyun içerisine katılmaktadır. Katkı maddeleri belirlenen sınır değerlerinin üzerinde kullanıldığında ters etkiler ortaya

çıkarabilir. Bu katkı maddeleri, sınır değerlerinin altında kullanıldığında ise hiçbir yararı olmayabilmektedir.

Kimyasal katkı maddeleri beton üretiminde kullanımı diğer Avrupa ülkelerinde olduğu yaygınlaşmış durumdadır. Katkısız beton üretimi pek tercih edilmeyen bir durumdur. Fakat uygulama gerektiği gibi yapılmaz ise katkı maddesinden iyi bir sonuç alınamaz. Karışım hesabı, üretim ve kürü yöntemlere uygun yapılmaz ise, betonun kalitesi katkı maddesi ile iyileştirilemez.

Katkı maddeleri çoğu zaman çimento dozajının belirlenen yüzdesi olarak oranlanıp katılmaktadır. Bu sebeple yapılan bu oranlamaya dikkat etmek gerekir. Kullanılan katkı maddelerinin etkileri şu şekilde sıralanmaktadır. Bunlar;

- Su azaltıcı/akışkanlaştırıcı katkı,
- Yüksek oranda su azaltıcı/süper akışkanlaştırıcı
- Su tutucu katkı
- Hava sürükleyici katkı
- Priz hızlandırıcı katkı
- Su geçirimsizlik katkısı
- Priz geciktirici/su azaltıcı/akışkanlaştırıcı katkı
- Priz geciktirici/yüksek oranda su azaltıcı/süper akışkanlaştırıcı
- Priz hızlandırıcı/su azaltıcı/akışkanlaştırıcı katkı.

Su azaltıcı/akışkanlaştırıcı katkı; kıvamı değiştirmeden su miktarının azalmasını sağlayan veya su miktarı değişmeden çökmeyi/yayılmayı arttıran veya her iki etkiyi birlikte oluşturan kimyasal katkıdır.

Eşit kıvamda;

Su azaltma: En az %5,

Dayanım Artışı: %110 (7 gün), %110 (28 gün),

Hava Miktarı: Şahit betonun en çok %2 üzerinde (hacimce).



#### Avantajları;

- Su/Çimento oranı düşer,
- Kıvam artar,
- İşlenebilirlik artar,
- Yerleştirme artar,
- Dayanım artar,
- Pompalanma artar,
- Su geçirmezlik artar.

Yüksek oranda su azaltıcı/süper akışkanlaştırıcı katkı: Betonda kıvamı değiştirmeden yüksek oranda azalmasını sağlayan veya su miktarı değişmeden çökmeyi yüksek oranda arttıran veya her iki etkiyi birlikte oluşturan kimyasal katkıdır.

#### Eşit Kıvamda;

- Su azaltma: En az %12,
- Dayanım artışı: %140 (1 gün), %115 (28 gün),
- Hava Miktarı: Şahit betonun en çok %2 üzerinde (hacimce)

#### Avantajları;

- Su/çimento düşer,
- Kıvam artar,
- İşlenebilirlik artar,
- Yerleştirme artar,
- Dayanım artar,
- Pompalanma artar,
- Su geçirmezlik artar.

### 3.5. Hava Sürükleyicilerin Tanımı

Hava sürükleyiciler ilk olarak 1930'lu yıllarda geliştirilmeye başlanılmıştır. Hava sürükleyicilerin betonun üretimi sırasında eklenmesi gerekmektedir. Hava sürükleyicilerin etkileri şu şekilde sıralanmaktadır. Bunlar;

- Yüzey gerilimlerini azaltmaktadır,
- Hava boşluklarının bir araya gelmesini önlemektedir,
- Hava boşluklarını dış yüzeye çıkmasını engellemektedir.

Bu küçük boşluklar incelendiğinde çaplarının 1 mm'den az olduğu ve çoğunlukla 0,01 mm ile 0,1 mm arasında olduğu görülmektedir. Hava sürükleyici olan katkılar sürfaktant adı verilen kimyasal gruba dahil olmaktadır. Moleküllerin bir ucunun hidrofil olduğu görülmektedir. Diğer ucunun hidrofobik olduğu gözlemlenmiştir. Hava sürükleyici katkılar değişik hammaddelerin birleşmesinden meydana gelmektedir. Burada görülen başlıca hammaddeler şu şekilde sıralanmaktadır. Bunlar;

- Ağaç reçinesi tuzları (Çam kütüklerinden),
- Sentetik deterjan (Petrol fraksiyonunda),
- Linyosülfanatlar (Kağıt endüstrisinden),
- Asitli tuzlar (Petrol arıtmadan),
- Proteinli tuzlar (Hayvan derisinden),
- Sülfonatlı hidrokarbon tuzlarıdır (Petrol rafinerisinden) (Kevorkian, 2006).

Hava sürükleyicilerin betonun donma direncini arttırmasının yanında başka yararları da bulunmaktadır. Yuvarlak şekillerinden dolayı betonun işlenebilirliğini yükseltmektedir. Bunun yanında daha düşük su-çimento oranı ya da daha iyi işlenebilirlik elde edilmektedir. Bu şekilde daha yüksek dayanım ve dayanıklılık elde edilmiş olmaktadır. Ayrışma ve terlemenin daha az olduğu, çünkü daha az su kullanıldığı, hava boşlukları küçük çimento ve agrega parçalarının çökmesini önlemektedir (Kosmatka vd., 2002). Ayrıca hava boşlukları reaksiyon sonucu meydana gelen genişlemelere yer sağlamaktadır. Bunun sonucunda da beton sülfat ve alkali-silika reaksiyonlarına karşı direnci arttırmaktadır.

Hava boşluklarının dayanım üzerinde olumsuz bir etkisinin bulunduğu görülmektedir. Hava boşluğundaki her %1'lik artışın beton dayanımının %2 ile %6 arasının zayıfladığı

görülmektedir (Kosmatka vd., 2002). Genellikle %1'lik hava boşluğu artışının dayanımda %5'lik bir düşüğe neden olduğu görülmektedir. Bu kayıp gerekirse deney yapılarak da belirlenebilmektedir.

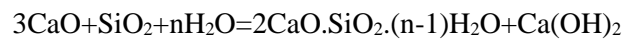
Dayanım kaybı yüzünden fazla miktarda hava sürükleyici katkı kullanımından kaçınılması gerekmektedir. Son zamanlarda görülen bir başka problem ise hava kabarcıklarının birleşmesinden oluşan zayıf bir bölgenin oluşması ve dayanımın azalması olarak belirlenmektedir. Bu birleşmeler iri agregaların etrafında oluşmaktadır ve agrega ile çimento hamuru arasındaki bağı zayıflatmaktadır. Bu olay hava sürükleyici katkıların cinsi ile ilgili olarak görülmektedir ve bu ağaç reçineli katkılarda görülmemektedir. Ağaç reçinesi içermeyen katkılarda ise betona su eklenmesi sonucunda daha uzun bir karıştırma işlemi yapılmaktadır (Camposagrado, 2006).

### 3.6. Beton İçerisinde Uçucu Kül ve Hava Sürükleyiciler

Beton içerisinde uçucu kül kullanılmasının tarihi çimento kadar eski olmadığı bilinmektedir. Uçucu külün kullanılmasıyla ilgili olarak yapılmış ilk detaylı çalışmanın Davis tarafından 1937 yılında yapıldığı görülmektedir. Amerika'da bulunan Hoover Barajı uçucu kül katkısının kullanıldığı ilk proje olarak 1931 yılında yapılmıştır. Ülkemizde yapılan ilk çalışma 1964 senesinde Devlet Su İşleri tarafından yapılmaya başlamıştır. Gökçekaya Barajı yapımında beton içerisinde içerisin de uçucu kül katkısı kullanıldığı bilinmektedir.

Türkiye'de yıllık olarak 15 milyon ton uçucu kül elde edildiği görülmektedir. Bunun yaklaşık olarak %25'inin beton içerisinde kullanılabilir bir nitelik taşıdığı ortaya çıkmıştır. 2013 yılı içerisinde Ülkemizde beton üretiminde 2 milyon ton uçucu kül kullanılmıştır. Dünyada en fazla uçucu kül katkısının Amerika, Çin ve Hindistan'da kullanıldığı bilinmektedir. Ayrıca uçucu kül sadece beton üretiminde beton içerisinde değil çimento içerisinde kimyasal bileşen olarak da kullanılmaktadır. Uçucu kül katkısı beton da işlenebilirlik açısından çok önemli rol oynar.

Bazı uçucu küller tek başına bağlayıcı özelliği yoktur, ama çimento hidrasyon ürünü olan kalsiyum hidroksit ile reaksiyona girdiğinde dayanımı sağlayan C-S-H jeli oluşturan bir malzemedir. Aşağıdaki formüllerle bu durumun gösterildiği görülmektedir. C-S-H oluşumu ne kadar faydalı ise zayıf bir ürün olan ve durabilite açısından sorun yaratabilen kalsiyum hidroksit miktarının azalması da bir o kadar faydalı görülmektedir.



Uçucu kül katkısının beton yaşı ilerledikçe beton mukavemetini yükselttiği bilinmektedir. Uçucu kül katkısının kullanılmasının olumlu sonucu sadece basınç dayanımına katkısı değildir. Uçucu kül pürüzsüz kürecik şeklindedir ve camsı yapıdadır. Uçucu külün su emme özelliği güçlü değildir. Diğer önemli etkilerinden biri de tane boyutunun sebebiyle boşlukları çok iyi doldurma özelliğidir.

Ülkemizde uçucu kül malzemesinin kullanımı çok yaygın olarak kullanılırsa da genel olarak 1 m<sup>3</sup> beton içerisinde 35-75 kg arasında kullanılmaktadır. Türkiye dışındaki ülkelerin bazılarında ise bu sayı 110-140 kg olarak bilinmektedir.

Çimento cinsleri çimento özgül ağırlığı cinsine göre değişim göstermektedir. Ülkemizde ve Avrupa da en fazla tercih edilen CEM I 42,5 R çimento özgül ağırlığı 3-3,15 arasındadır. Uçucu külün özgül ağırlığı ise 2-2,5'tir. Beton kütlelerinin yüzeyinde daha fazla uçucu kül konsantrasyonu oluşmaktadır. Özellikle yüksek oranda kül kullanılan karışımlarda yüzeye yakın tabakanın dayanımının olumsuz şekilde etkilendiği görülmektedir. Ayrıca olumsuz etki olarak söylenilecek olursa plastik rötre çatlaklarının artışı görülmüştür (Ergin, 2015).

Günümüzde hava sürükleyici katkı malzemeleri kullanılarak üretim yapılmaktadır. Yaygın olarak kullanılırsa da üretimi yapılan hava sürükleyici çimentolar da vardır. Hava sürüklenmiş beton çimento hamurunda birbirlerine çok yakın, düzenli bir şekilde dağılan, birbirleri ile bağlantıları olmayan, çok miktarda ve küçük (0,05 ve 1,50 mm çapında) hava kabarcıklarıdır.

Hapsolünmüş hava, yerleştirilen taze beton içerisinde rastgele oluşmuş ve rastgele dağılım gösteren hava boşluklarıdır. Sürüklenmiş havaya göre oluşan boşlukların daha büyük çapta oluştuğu görülmektedir. Hava sürüklenmiş hava kabarcıklarında aralarında bağlantı olmamaktadır. Hapsolünmüş havada ise boşluklar arasında bağlantı bulunabilmektedir. Beton içerisinde çok fazla miktarda hapsolünmüş havanın olması betonda dayanım düşüşüne sebep olur. Hava sürükleyici katkılar yardımıyla çimento hamuru içerisinde birbirleri ile bağlantıları olmayan ve beton içerisinde düzenli bir şekilde dağılan çok sayıda hava kabarcıkları oluşturulmaktadır. Oluşan bu hava kabarcıkları sayesinde betonun işlenmesini kolaylaştırmaktadır. Hava sürüklenmemiş betona göre daha yumuşak bir beton elde edilmektedir. Oluşan hava boşlukları da beton prizini tamamladıktan sonrada yerlerini korumaktadır. Hava sürüklenmiş betonun faydaları şu şekilde sıralanmaktadır;

- Dona karşı dayanıklılık,
- İşlenebilirliği artar,

- Ayrışma ve terlemeyi azaltır,
- Sülfat ve alkali-silika reaksiyonlarına karşı direnç sağlar (Özçifçi, 2018).

### **3.7. Kendiliğinden Yerleşen Betonda Uçucu Kül ve Hava Sürükleyicilerin Basınç Dayanımına Etkisi**

Uçucu küller; boyut olarak dairesel bir boyuta olmalarından dolayı su ihtiyacını arttırmazlar ve daha az bir S/Ç oranı ile olması gereken işlenebilirlik sonuçlarına ulaşılmaktadır. Uçucu küller sulu ortamda kireci bağladıkları için betonu dış etkilere karşı dayanıklı yapmaktadır ve su geçirimsizliğini azaltmaktadır (Temiz ve Yeğinoğlu, 1995). Uçucu küllerin beton içerisinde kür sıcaklığının artması ile basınç dayanımının iyileştiği, birim ağırlıklarının düştüğü, hacimce su emmelerinde de artışa neden olduğu sonucuna varılmıştır (Koral ve Özkul, 1997).

Uçucu küllü betonların donma-çözülme deneyleri sonunda kayıpların daha az olduğu, betona katkı olarak katılması durumunda basınç dayanımlarını arttırdığı belirtilmektedir (Atanur ve Yağız, 1970). Yüksek dayanımlı betonlarda çimento yerine %25 oranında uçucu kül kullanılmasıyla basınç dayanımları ve elastisite modüllerinin düştüğü, çekme ve eğilme dayanımlarının arttığı görülmektedir. Aynı zamanda yüzeysel aşınma arttıkça ve kimyasal etkilere dayanıklılığı sülfirik asit hariç arttığı belirlenmiştir (Yazıcı ve Baradan, 1995: 59). Dayanıklı bir beton üretebilmek için beton rötreden oluşan mikro çatlakların azaltılması, daha az çimento ile yüksek oranda uçucu kül kullanılarak istenilen dayanımların sağlanması yönünde çalışmalar yapılmaktadır. Kendiliğinden Yerleşen Beton üzerinde %20-25 oranında uçucu kül kullanmak betonun mukavemetini iyileştirerek ekonomiklik sağlamak ve çevresel kirliliği azaltmaktadır.

Hava sürükleyici katkısı kullanılan karışımların vizkozitelerinin önemli oranda düştüğü görülmektedir. Azaltılan akışkanlaştırıcı dozajı hedef yayılma çapına ulaşmayı engelleyebilmektedir. Hava sürüklenmemiş matriste çelik teller basınç dayanımı kazanımını erken yaşta belirgin derecede yavaşlatırken, hava sürüklendiğinde hızlandırılabilir. Karma lif kullanımı ile sürüklenen hava yüzdesi başına dayanım kaybı en düşüktür. Farklı narinlikteki liflerin, hava sürüklenmiş matristeki süreksizlikleri karşılamada başarılı olduğu söylenebilmektedir. Sürüklenmiş hava boşluğu çaplarının genel olarak 50-300 mikronmetre aralığında olduğu gözlenmiştir. Akıcı kıvamdaki hamurda sürüklenmiş hava küreciklerinin birleşerek küresel makro boşluklara sebep olduğu görülmüştür (Yalçınkaya ve Yazıcı, 2015).

### **3.8. Kendiliğinden Yerleşen Betonda Uçucu Kül ve Hava Sürükleyicilerin İşlenebilirliğe Etkisi**

Kendiliğinden yerleşen betondan da beklenen özelliklerden biri işlenebilir olması ve ulaşılmak istenilen dayanımın sağlamasıdır. İşlenebilirlik özelliği taze betondaki özelliktir. Uçucu küllü betonlarda uçucu külün işlenebilirliğe ve yine önemli bir özellik olan su ihtiyacına olan etkisi dikkatli bir şekilde irdelenmelidir. Düşük kalsiyumlu uçucu küllerin özellikle küresel tanecik özellikleri nedeniyle su ihtiyacını azalttığı gözlenmiştir. Davis ve arkadaşları, uçucu küllerin diğer puzolanlar gibi su ihtiyacını arttırmadığını belirtmişlerdir. Owens'a göre uçucu külün işlenebilirliğe olan etkisi, uçucu küldeki kaba tanelerin (45 µm den büyük) payıdır. Yaptığı çalışmalarda ince taneleri yüzde 50'den fazla olan uçucu küllerin su ihtiyacını azalttığını tespit etmiş ancak kaba taneleri yüzde 50'den fazla olan uçucu küllerin, su ihtiyacına olumlu bir etkisi olmadığını bulgulamıştır (Gürbüz, 2009).

Hava sürükleyici katkıları; kendiliğinden yerleşen betonda hava miktarını arttırmak, hava boşluklarını birbirinden ayrı üniform bir şekilde dağıtmak ve bu durumu beton prizi tamamlanıncaya kadar sürdürmek için kullanılan katkı maddeleridir. Hava sürükleyici katkıların betonun işlenebilirliğini ve dayanımını arttırdığı görülmektedir. Milyonlarca hava kabarcığının homojen bir şekilde dağılma sonucunda betonun donma ve çözünme olaylarından korunmasını sağlamaktadır.

## 4. DENEYSEL ÇALIŞMA

### 4.1. Üretimde Kullanılan Malzemeler

Kendiliğinden Yerleşen Beton üretiminde çimento, agregalar, su, uçucu kül, hava sürükleyici ve hiperakışkanlaştırıcı katkı maddesi olarak kullanılmıştır.

#### 4.1.1. Çimento

Deneyisel çalışmaların tümünde, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümü laboratuvarında bulunan Çimsa Çimento ve TS EN 197-1:2012 standardına uygun CEM I 42.5 çimentosu kullanılmıştır. İlgili çimentonun kimyasal ve mekanik özellikleri Çizelge 4.1. de görülmektedir.

**Çizelge 4.1.** Deneyde kullanılan CEM I 42.5 çimentosunun özellikleri.

Kimyasal Analiz			Kimyasal Analiz	
Silisyum dioksit (SiO <sub>2</sub> )	(%)	19.39	Özgül Ağırlık	3.06
Kalsiyum oksit (CaO)	(%)	62.95	Özgül Yüzey (cm <sup>2</sup> /g)	3370.00
Magnezyum oksit (MgO)	(%)	1.87	0,090 mm Elek kalıntısı (%)	1.91
Aliminyum oksit (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	(%)	5.19	0,045 mm Elek kalıntısı (%)	12.2
Demir oksit (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	(%)	2.36	Standart Kıvam Su Miktarı (%)	27.00
Kükürt trioksit (SO <sub>3</sub> )	(%)	2.85	Priz Başlama Süresi (dakika)	190.00
Kızdırma kaybı	(%)	3.69	Priz Sona Erme Süresi (dakika)	260.00
Sodyum Oksit (Na <sub>2</sub> O)	(%)	0.21	Genleşme	1.00
Potasyum Oksit (K <sub>2</sub> O)	(%)	0.64		
Klorür(Cl)smaller	(%)	0.009		
Toplam Alkali	(%)	0.61		
Toplam Katkı	(%)	4.39		
Çözülme kalıntı	(%)	0.60		
Serbest Kireç	(%)	1		
LSF	(%)	99.66		
C <sub>3</sub> S	(%)	61.67		
C <sub>2</sub> S	(%)	9.14		
C <sub>3</sub> A	(%)	9.75		
C <sub>4</sub> AF	(%)	7.23		

#### 4.1.2. Su

Kendiliğinden yerleşen beton üretimi yapılırken karışımda, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümü laboratuvarında bulunan Kütahya Belediyesi şebeke suyu kullanılmıştır. Kullanılan suyun kimyasal analizi Çizelge 4.2’de gösterilmiştir.

**Çizelge 4.2.** Deneyde kullanılan suyun kimyasal özellikleri.

Deney Adı	Sonuç	Sınır Değerler
Sülfat Muhtevası (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	22 ppm (mg/L)	2000 ppm (mg/L)
Klorür Muhtevası (Cl)	65 ppm (mg/lt)	4500 ppm (mg/L)
Sodyum Oksit (Na <sub>2</sub> O)	51 ppm (mg/lt)	
Potasyum Oksit (K <sub>2</sub> O)	11 ppm (mg/lt)	
Toplam Alkali Muhtevası	8 ppm (mg/lt)	1500 ppm (mg/L)
pH Değeri	7,9	>5
Koku	-	Koku olmaması gerekir.
Renk	Berrak	Sarıdan daha açık olması gerekir.
Deterjanlar	-	Köpük 2 dakikada kaybolmalıdır
Sıvı ve Katı Yağlar	-	Görünen izlerden daha çok olmaması gerekir.
Organik Madde	Oluşan renk standart renkten açıktır.	NaOH ilavesi sonrasında renk açık sarı ya da daha açık olmalıdır.
Kurşun (Pb <sup>2+</sup> )	0,05 ppm (mg/L)	100 ppm (mg/L)
Fosfat (P <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	1,7 ppm (mg/L)	100 ppm (mg/L)
Çinko (Zn <sup>2+</sup> )	11 ppm (mg/L)	100 ppm (mg/L)
Nitrat (NO <sub>3</sub> )	0,1 ppm (mg/L)	500 m (mg/L)

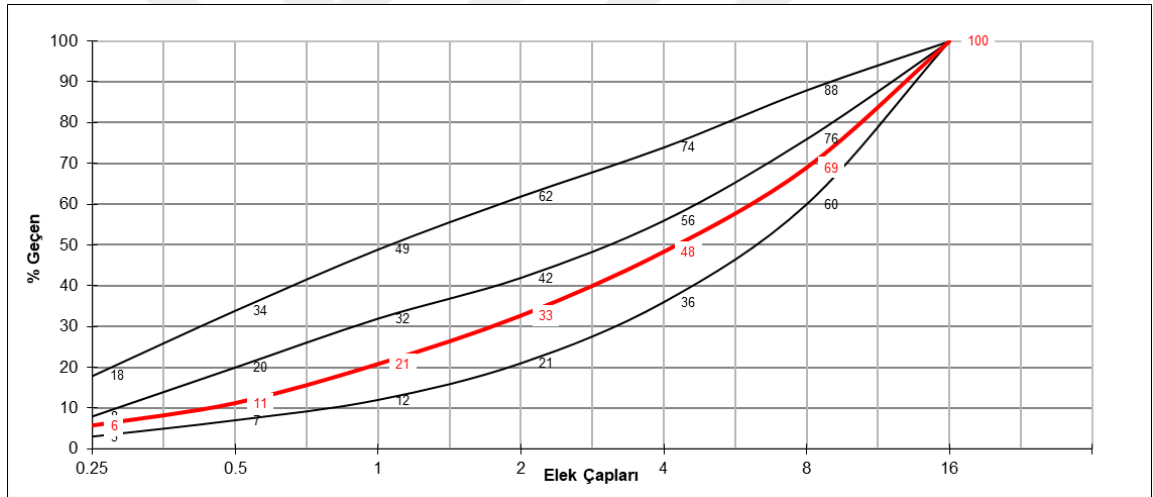
#### 4.1.3. Agregalar

Beton üretiminde Kütahya Dumlupınar Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümü laboratuvarından temin edilen 2 farklı boyuttaki (0-4 ve 4-12 mm) agregalar kullanılmıştır. Agregaların özelliklerinin ve granülometrisinin belirlendiği deneyler TS EN 1097-3 ve TS 706 EN 12620+A1’a uygun olarak yapılmış, agregaların elek analizleri Çizelge 4.3.’de, granülometri eğrisi Şekil 4.1’ de gösterilmiştir.



**Çizelge 4.3.** Deneyde kullanılan agregaların elek analizleri.

Elekler (mm)	Orta Agregat (g) 4-12 % Geçen	İnce Agregat (g) 0-4 % Geçen	Karışım % Geçen
16	100	100	100
8	38	100	69
4	2	95	48
2	0	65	33
1	0	42	21
0.5	0	22	11
0.25	0	11	6
0.125	0	1	0



**Şekil 4.1.** Deneyde kullanılan agrega karışımının granülometri eğrisi.

#### 4.1.4. Uçucu kül

KYB karışımlarında normal betona göre çok daha fazla miktarda bağlayıcı maddeye ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle deneysel çalışmalarımızda kimyasal bileşimi ve mekanik özellikleri Çizelge 4.4'de verilen Kütahya Seyitömer Termik Santrali'nden temin edilen uçucu kül kullanılmıştır.

Kütahya Seyitömer Termik Santrali'nden temin edilen uçucu kül, reaktif kireç miktarının %10'un altında olması nedeniyle ve reaktif silis miktarının % 25'in üzerinde olması nedeniyle TS EN 197-1:2012 standardında V sınıfı şartlarını tümüyle sağlamaktadır. SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> değerleri toplamı % 70 in üzerinde CaO nun % 10'un altına olması nedeniyle ASTM C

618 standartlarına göre F sınıfı şartlarını sağlamaktadır. Deneyde kullanılan uçucu külün kimyasal özellikleri Çizelge 4.4.'de gösterilmiştir.

**Çizelge 4.4.** Deneyde kullanılan uçucu külün kimyasal özellikleri.

Fiziksel ve Kimyasal özellikler					
Standart Değer	Standart Değer	Standart Değer	Standart Değer	Standart No	Standart değer
Kızdırma kaybı	-	max. % 5	%7 ye kadar	EN 196-2	0,56
İncelik (45 mikron elek bakiyesi)	0,25	15-35	%+1 0,-10	EN 451-2	26,2
Klorür	-	max. % 0,1		EN 196-2	0,0088
Serbest kalsiyum oksit	-	max. % 1	% 1-2,5 ise genişleme	EN 451-1	0,06
Reaktif kalsiyum	-	max. % 10		EN 196-2	2,63
Kükürt trioksit	-	max. % 3		EN 196-2	0,41
Genleşme	-	max. 10 mm	%30 Küllü çimento karışımının genişmesi max. 10mm	EN 196-3	-
Aktivite endeksi	-	28 günlük aktivite min 75 90 günlük aktivite min 85		EN 196-1	7 Günlük akt. 71,7 28 Günlük akt. 82,6 90 Günlük akt. -
Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )	2200	2000-2400	+,- 200 kg/m <sup>3</sup>	EN 196-6	2280

#### 4.1.5. Hava sürükleyiciler

Hava sürükleyiciler; betonun taze ve/veya sertleşmiş hâldeki özelliklerini geliştirmek için karıştırma işlemi sırasında betona, çimento kütlelerinin % 0.1'ini geçmemek üzere eklenen malzemelerdir. Hava sürükleyici kimyasal katkı; karıştırma sırasında taze betona kontrollü miktarda küçük, düzgün dağılmış ve sertleşme sonrasında da kalıcı olan hava kabarcığı sürükleyen kimyasal katkıdır. Sentetik bazlı sıvı, düşük dozda dahi etkili olan hava sürükleyici beton katkısıdır. Betonun islenebilirliği ve dayanıklılığını artırmaktır.

KYB karışımında çimento dozajının %0.1 oranında hava sürükleyici kullanılmıştır. Deneyde kullanılan hava sürükleyici katkı malzemesi Kütahya Aragonit Yapı Kimyasalları'ndan temin edilmiş olup kimyasal bileşimi Çizelge 4.5.'de verilmiştir.

**Çizelge 4.5.** Deneyde kullanılan hava sürükleyicinin özellikleri.

Özellikleri	“Kabul Kriteri”
Bağıl yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	d > 1.10 ise d ± 0.03 d ≤ 1.10 ise d ± 0.02
pH Değeri (20 0 C)	Üreticinin belirttiği değer ± 1
Katı Madde (%)	T ≥ % 20 için 0.95 T ≤ X < 105 T T < % 20 için 0.90 T ≤ X < 1.10 T
Klor İçeriği (%)	Kütlece en çok % 0.10

#### 4.1.6. Hiperakışkanlaştırıcı

Erken ve nihai yüksek dayanım, yüksek performanslı beton üretimlerinde kullanılan yeni nesil hiperakışkanlaştırıcı beton katkısıdır. Hazır beton sektörü için geliştirilmiş, dozaja bağlı olarak çok yüksek oranda su azaltan, işlenebilirlik süresi uzun, ayrışma ve terleme gibi problemler oluşturmaksızın, kendiliğinden yerleşen ve sıkışan beton elde edilmesini sağlar. Beton üretiminde kullanılan akışkanlaştırıcının kimyasal teknik özellikleri Çizelge 4.6.’da gösterilmiştir.

**Çizelge 4.6.** Deneyde kullanılan hiperakışkanlaştırıcının teknik özellikleri.

Özellikleri	Kabul Kriteri
Renk	Kahverengi
Bağıl Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	d > 1.10 ise d ± 0.03 d ≤ 1.10 ise d ± 0.02 d üreticinin beyan ettiği yoğunluk değeri.
pH Değeri (20 0 C)	Üreticinin belirttiği değer ± 1
Klor İçeriği (%)	Kütlece en çok % 0.10
Alkali Miktarı (%)	%3

## 4.2. Numune Hazırlanması ve Yapılan Deneyler

Numune hazırlanması ve taze beton deneyleri Kütahya Dumlupınar Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü beton laboratuvarında yapılmıştır. Hazırlanan numuneler, laboratuvarındaki kür havuzlarına bırakılarak standart kür koşullarına göre 7 ve 28 gün sonunda havuzdan alınarak numunelere sertleşmiş beton deneyleri yapılmıştır. Bu bölümde numune yapım süreci ve yapılan tüm deneyler anlatılacaktır.

### 4.2.1. Karışım oranları

Bu çalışmada KYB şartlarını sağlamak için deneme karışımı yapılarak karışım oranları belirlenmiş, KYB özellikleri sağlandıktan sonrada 4 farklı deney karışımı hazırlanmıştır. Hazırlanan birinci karışımında uçucu kül oranı %0, ikinci karışımında çimento ağırlığının %10 oranında uçucu kül, üçüncü karışımında ise çimento ağırlığının %20 oranında, dördüncü karışımında ise çimento ağırlığının %30 oranında uçucu kül kullanılmıştır. Daha sonrasında karışımında %0.1 hava sürükleyici katkı kullanılmıştır. Karışımındaki çimento dozajı 390 kg olup su/çimento oranı da 0,48 seçildiğinden karışımındaki su miktarı 190 litredir. Deneme çalışmasında kullanılan agrega karışım oranı (% 50 0-4, % 50 4-12) tüm deney karışımlarında sabit tutulmuştur.

KYB şartlarını sağlamak için yapılan karışımında toplam kullanılan malzeme miktarı oranları Çizelge 4.7’de görülmektedir.

**Çizelge 4.7.** Deneyde kullanılan 1 m<sup>3</sup> beton için toplam malzeme miktarı.

Kullanılan Malzemeler		%0 U.K	%10 U.K	%20 U.K	%30 U.K	%0.1 H.S
Çimento	(kg/m <sup>3</sup> )	390	390	390	390	390
Uçucu Kül	(kg/m <sup>3</sup> )	-	39	78	117	-
Hava sürükleyici	(kg/m <sup>3</sup> )	-	-	-	-	0,39
Su	(kg/m <sup>3</sup> )	190	190	190	190	190
İnce Agrega (0-4)	(kg/m <sup>3</sup> )	904,28	904,28	904,28	904,28	904,28
Orta Agrega (4-12)	(kg/m <sup>3</sup> )	904,28	904,28	904,28	904,28	904,28
Katkı	(kg/m <sup>3</sup> )	9,45	9,45	9,45	9,45	9,45
Toplam		2398,01	2437,01	2476,01	2515,01	2398,4

#### 4.2.2. Karışımın hazırlanması

Çalışmanın bu kısmında yapılacak olan taze beton deneyleri dikkate alınarak gerekli hazırlıklar yapılmıştır. Kontrollü karışım için hassas (elektronik) terazi ile ölçüm yapılmıştır. Şekil 4.2'de gösterilmiştir. Karışımında kullanılacak malzemeler elektronik terazi kullanarak tartılmış ve hazır hale getirilmiştir. Önce agregalar karıştırıcıya aktarılmış sonrasında bir süre karıştırıldıktan sonra çimento ilave edilmiştir. Karışımın homojen hale geldikten sonra (min. 2 dakika) karışım suyu ilave edilmiştir.



Şekil 4.2. Karışımında kullanılacak malzemelerin ölçümü.



Şekil 4.3. Betonun karışma hali.

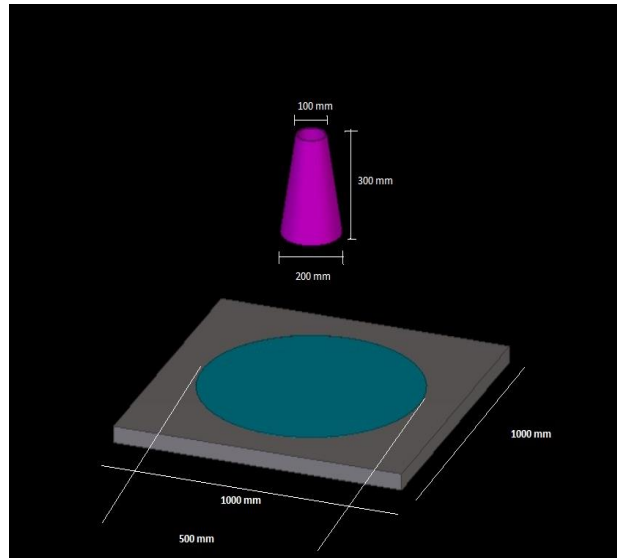
Betonun kendiliğinden yayılabilecek kıvama geldiği anlaşıldığında karıştırma işlemi sonlandırılmıştır. Şekil 4.3’de karışım hali gösterilmiştir. Toplam karıştırma süresi, agregalar ve tüm malzemelerin karıştırılma süresi ortalama 5 dakika olarak gözlemlenmiştir.

Deneysel çalışma için toplamda 144 numune hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler küp, silindir ve prizma numuneleridir. Bu numuneler üzerinde sertleşmiş beton deney sonuçları incelenmiştir.

### 4.2.3. Kendiliğinden yerleşen beton da taze beton deneyleri

#### Çökme-yayılma deneyi

Bu deney Abram’s konisinden faydalanarak yapılmıştır. Pürüzsüz düz bir yüzeye yerleştirilen tablanın orta noktasına Abram’s konisi konular ve sıkıştırma gibi işlemler yapılmadan beton ile doldurulur. Sonrasında koni tablaya dik yukarı çekilir. KYB’nin kendi ağırlığı ile 50 cm çapa ulaşma süresi kayıt edilmiştir. Yayılma tamamlanınca dik olarak toplam yayılma çapı ölçülmüştür. Betonun 500 mm çaplı daireye ilk temas etmesine kadar geçen süre kaydedilmiştir. Betonun yayılma hareketi durduktan sonra, yayılan betonun çapı, birbirine dik olarak iki noktadan ölçülüp her iki çapın aritmetik ortalaması alınmıştır. Kullanılan ekipmanların boyutları Şekil 4.4’de ve deneyin yapılışı Şekil 4.5’de gösterilmiştir.



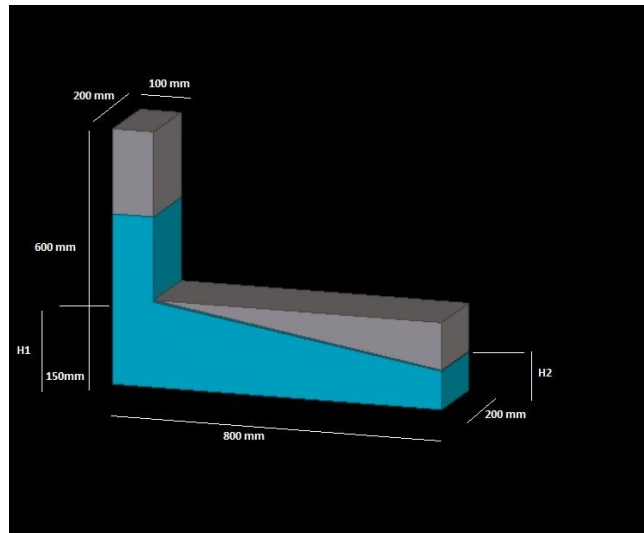
Şekil 4.4. Çökme yayılma deneyi ekipmanları boyutları.



Şekil 4.5. Çökme yayılma deneyi uygulaması.

### L Kutusu deneyi

L kutusu deneyi, kendiliğinden yerleşen betonun, donatılar arasından ve dar açıklıklardan, ayrışma veya blokajlanma olmaksızın akarak geçme yeterliliğinin gözlemlenmesi için yapılmıştır. L kutusunun ortasında sürgülü bir kapaktan ve kapak açılıp betonun yayılmasını engellemek için 3 adet 8 mm çapında demir bulunmaktadır. Taze halde bulunan KYB kutunun dik kısmından boşaltılmıştır ve sonrasında sürgülü kapak açılarak h1 mesafesine geliş süresi gözlemlenip ölçülmüştür. Kullanılan ekipmanların boyutları Şekil 4.6'da ve L kutusu deneyi Şekil 4.7'de ve Şekil 4.8'de gösterilmiştir.



Şekil 4.6. L Kutusu deneyi ekipmanları boyutları.





**Şekil 4.7.** L Kutusu geçiş süresi deneyi uygulaması.

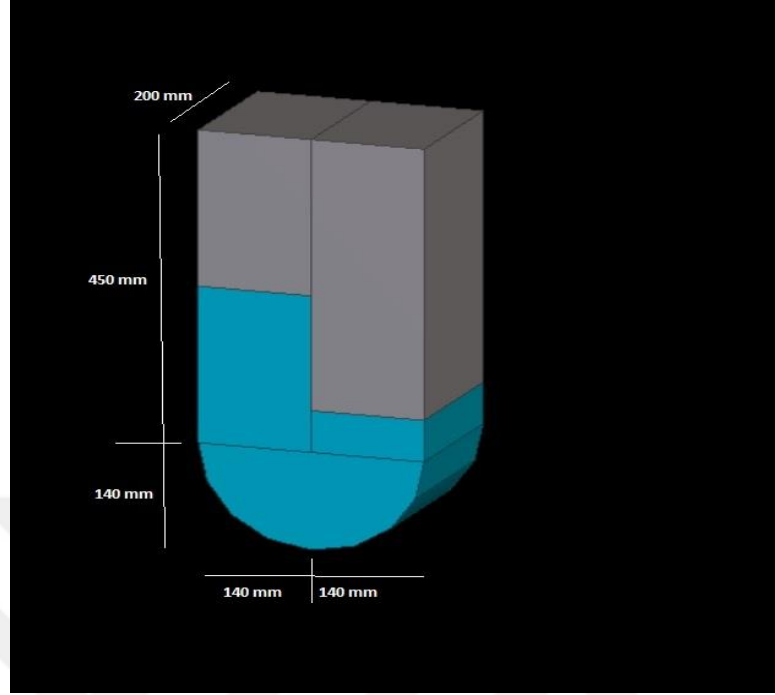


**Şekil 4.8.** L Kutusu geçiş süresi deneyi uygulaması – 2.

### U Kutusu deneyi

Kendiliğinden yerleşen betonun yerleşme yeteneğinin ölçülmesini sağlamak amacıyla yapılan bir diğer deneydir. U şeklinde, alt ortasında sürgülü kapak olan ve demir çubuklar bulunan bir kutu şeklindedir. Kendiliğinden yerleşen beton sıkıştırılmadan doldurulup ve 1 dakika dinlendirilmiştir. Sürgülü kapak çekilerek betonun diğer bölüme doğru dolarak yükselmesi beklenir. Bölmelerdeki beton yüksekliklerinin farkı betonun geçme yeteneğini göstermiştir. Yükseklik farkının en yüksek 30cm olması istenilmektedir. Deney süresi 5 dakikadır. Kullanılan ekipmanların boyutları Şekil 4.9'da ve U kutusu deneyi Şekil 4.10'da ve Şekil 4.11'de gösterilmiştir.





Şekil 4.9. U Kutusu deneyi ekipmanları boyutları.



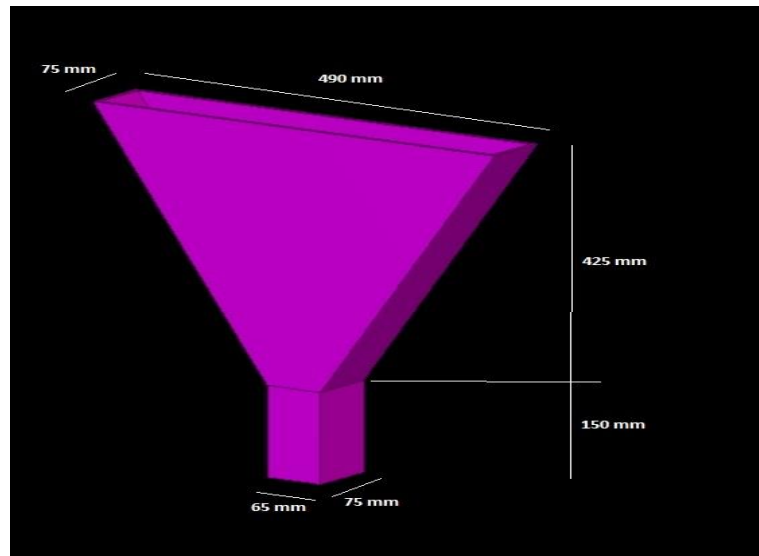
Şekil 4.10. U Kutusu geçiş süresi deneyi uygulaması.



**Şekil 4.11.** U Kutusu geçiş süresi deneyi uygulaması – 2.

#### V Kutusu deneyi

Kendiliğinden yerleşen betonun özel tasarlanmış bir huninin dar ağzından boşalma süresinin ölçülmesi amacıyla yapılan bir deneydir. Viskozite ve geçiş yeteneği hakkında fikir verir. Ekipman olarak özel bir huni kullanılır. Huniye kendiliğinden yerleşen beton dolduruldu ve altta bulunan sürgülü kapak açılıp huni içindeki tüm betonun boşalma süresi gözlemlenmiştir. Kullanılan ekipmanların boyutları Şekil 4.12’de ve V hunisi deneyi Şekil 4.13’de gösterilmiştir.



**Şekil 4.12.** V Kutusu deneyi ekipmanları boyutları.



**Şekil 4.13.** V Kutusu geçiş süresi deneyi uygulaması.

#### **4.2.4. Sertleşmiş beton deneyleri**

Sertleşmiş beton deneyleri için hazırlanan KYB, önceden yağlanıp hazırlanan numuneler kalıplarına alınmış ve 24 saat sonra kalıplardan çıkartılarak kür havuzunda bekletildi. 7 ve 28 gün sonunda kür sürelerini tamamlayan numuneler sonrasında sırasıyla birim ağırlık deneyi, ultrases geçiş süresi deneyi, yüzey sertliği deneyi, basınç dayanımı, yarmada çekme ve eğilme dayanımı deneyleri yapılmıştır.

##### Birim ağırlık deneyi

Birim ağırlıkların belirlenmesi için 7 ve 28 günlük numuneler kür sürelerini tamamladıktan sonra kürden çıkarılmıştır. Numuneler, elektronik terazide ağırlıkları ve boyutları ölçülerek hacimleri hesaplanmıştır. Ağırlıklarının hacme oranı ile birim ağırlıkları bulunmuştur. Birim ağırlıkların belirlenmesi ve kür havuzundan alınması Şekil 4.14. de gösterilmiştir.



**Şekil 4.14.** Birim ağırlıkların belirlenmesi ve numunelerin külden alınması.

#### Ultrases geçiş süresi deneyi

Birim ağırlıkları hesaplanan numunelerin hemen ardından tüm numunelerin ultrases geçiş süresi ölçülmüştür. Ölçümler direkt iletim yöntemi uygulanarak, ses geçiş süresi  $10^{-6}$  saniye duyarlılıkta, mikro saniye (t) olarak kaydedilmiştir. Ölçüm yapılan numune boyutunun, okunan değerlerin süreye oranlanması ile km/sn cinsinden hesaplama yapılarak ultrases geçiş hızı hesaplanmıştır. Ultrases geçiş süresi deneyi yapılışı Şekil 4.15’de gösterilmiştir. Denklem (4.1.) ile ultrases geçiş hızı değerleri hesaplanmıştır. Bu denklemde X mesafe, V ultrases geçiş hızı, t süreyi ifade etmektedir.

$$X=Vt \quad (4.1.)$$



**Şekil 4.15.** Ultrases geçiş süresi deneyi.

### Yüzey sertliği deneyi

Yüzey sertliği deneyi küp numunelere Schmidt çekiçi ile yapılmıştır. Yüzey sertliği deneyi betonun hasarsız muayenesi amacıyla kullanılan en yaygın uygulamadır. Bu uygulamada sertleştirilmiş çelikten yapılmış çekiçin beton yüzeyinde yaptığı darbeler sonucunda geri sıçrama miktarları ölçülmüştür. 9 ile 25 arasında değişen farklı değerler Schmidt çekiç okumaları alınır. Vuruş noktaları birbirinden 2 ile 5 cm arasında uzaklıkta (3 cm idealdir) olmalıdır. Vurma değerleri kaydedilmiştir. 10 adet okuma yeterli olmaktadır, fakat fazla yapılan okumalar hata payını azaltmaktadır. Değer sonuçların aritmetik ortalaması alınarak geri tepmeler bulunur. Yüzey sertliği deneyi Şekil 4.16. de gösterilmiştir.



**Şekil 4.16.** Yüzey sertliği deneyi.



### Basınç dayanımı deneyi

Küp numuneler üzerinde 7 ve 28 günlük basınç dayanımı deneyi yapılmıştır. Deneyde küp numuneler pres tablaları arasına alınmış ve etiketlerin bulunmadığı yüzeyleri yerleştirilmiştir. Numunelere 0,6 MPa/sn sabit hızla yükleme uygulanmış ve basınç dayanımı ölçümleri yapılmıştır. Basınç dayanımı deneyi Şekil 4.17. de gösterilmiştir. Denklem (4.2.) ile basınç dayanımı değerleri hesaplanmıştır. Bu denklemde  $\sigma$  basınç dayanımı, P uygulanan kırılma yükü, A numune kesit alanı ifade etmektedir.



**Şekil 4.17.** Basınç dayanımı deneyi.

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (4.2.)$$

### Yarmada çekme deneyi

Silindir numuneler üzerinde 7 ve 28 günlük yarmada çekme dayanımı deneyi yapılmıştır. Çalışmanın bu bölümünde kürden alınan numuneler, beton pres cihazına yerleştirilmiştir. Pres esnasında numuneleri sabit tutmak için metal kalıbın içine yatay olarak yerleştirilmiştir. Numuneye pres uygulanarak numune kırılana kadar devam edilmiş ve kırılma gerçekleştiğinde deney sonlandırılmıştır. Yarmada çekme deneyi Şekil 4.18. de gösterilmiştir. Denklem (4.3.) ile yarmada çekme dayanımı değerleri hesaplanmıştır. Bu denklemde  $\sigma$  yarmada çekme dayanımı, F uygulanan kırılma yükü, D numune çapı, L numune boyunu ifade etmektedir.



**Şekil 4.18.** Yarmada çekme dayanımı deneyi.

$$\sigma_{y\varphi} = \frac{2F}{\pi LD} \quad (4.3.)$$

### Eğilme dayanımı deneyi

Prizma numuneler üzerinde 7 ve 28 günlük eğilme dayanımı deneyi yapılmıştır. Çalışmanın bu bölümünde kürden alınan numuneler beton pres cihazına tam orta noktasına yükleme yapılacak şekilde pres cihazına yerleştirilmiştir. Sonrasında numuneye pres uygulanarak numune kırılana kadar devam edilmiş olup kırılma gerçekleştiğinde deney sonlandırılmıştır. Numunenin kırılmasına yol açan en yüksek yük miktarına göre eğilme dayanımı hesaplanmıştır. Eğilme dayanımı deneyi Şekil 4.19. de gösterilmiştir. Denklem (4.4.) ile eğilme dayanımı değerleri hesaplanmıştır. Bu denklemde  $\sigma_e$  eğilme dayanımı, F uygulanan kırılma yükü, L mesnetler arasındaki mesafe, H numune yüksekliği, B numune taban genişliği ifade etmektedir.



Şekil 4.19. Eğilme dayanımı deneyi.

$$\sigma_e = 1,5 \cdot \frac{F \cdot L}{B \cdot x \cdot H^2} \quad (4.4.)$$



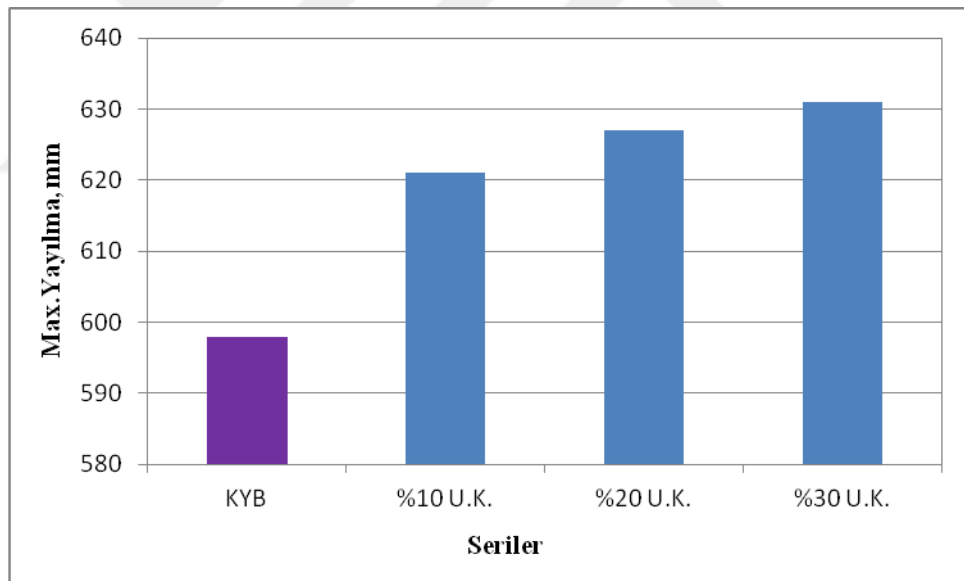
## 5. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ ve İRDELENMESİ

Uçucu kül ve hava sürükleyici katkı maddeleri kullanılarak kendiliğinden yerleşen betonun basınç dayanımına ve işlenebilirliğine etkisinin araştırıldığı bu çalışmada, yapılan deney sonuçları değerlendirilmiş ve irdelenmiştir.

### 5.1. Taze KYB Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi ve İrdelenmesi

Bu bölümde kendiliğinden yerleşen betonun doldurma özelliği, geçebilme özelliği, yayılma alanı ve hızı ve ayrışmaya karşı mukavemetine yönelik deney sonuçları değerlendirilmiş ve irdelenmiştir.

#### 5.1.1. Çökme-yayılma deney sonuçlarının değerlendirilmesi ve irdelenmesi

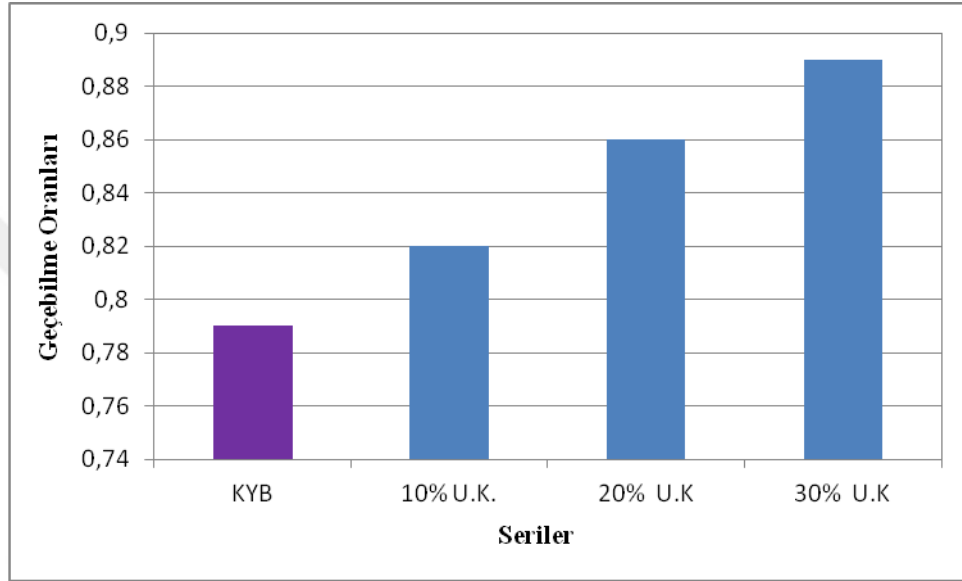


Şekil 5.1. Taze KYB’de çökmede yayılma deneyi yayılma çapları.

Farklı yüzdelerde uçucu kül katılarak oluşturulan beton serilerinin ortalama son yayılma çapları (mm) Şekil 5.1’de gösterilmiştir. Şekil 5.1. incelendiğinde taze KYB’de çökmede-yayılma deneyinde son yayılma çapları katkısız KYB kontrol ile yapıldığında 645 mm ölçülürken, %10 uçucu kül katkı KYB karışımında yayılma çapı %3,01 artarak 664 mm ölçülmüştür. Uçucu kül oranı %20’ye çıktığında ise yayılmadaki artış %5,52 ile 680 mm olarak ölçülmüştür. Uçucu kül oranı %30’a çıkarıldığında ise yayılmadaki artış %7,25 ile 691 mm

olarak ölçülmüştür. Bu sonuçlar neticesinde uçucu kül oranının artırılması ile yayılma çaplarında artma görülmüştür. Burada yayılma çaplarındaki artışın nedeni uçucu külün çok daha ince bir malzeme olup KYB'nin işlenebilirliğini artırdığı söylenebilir.

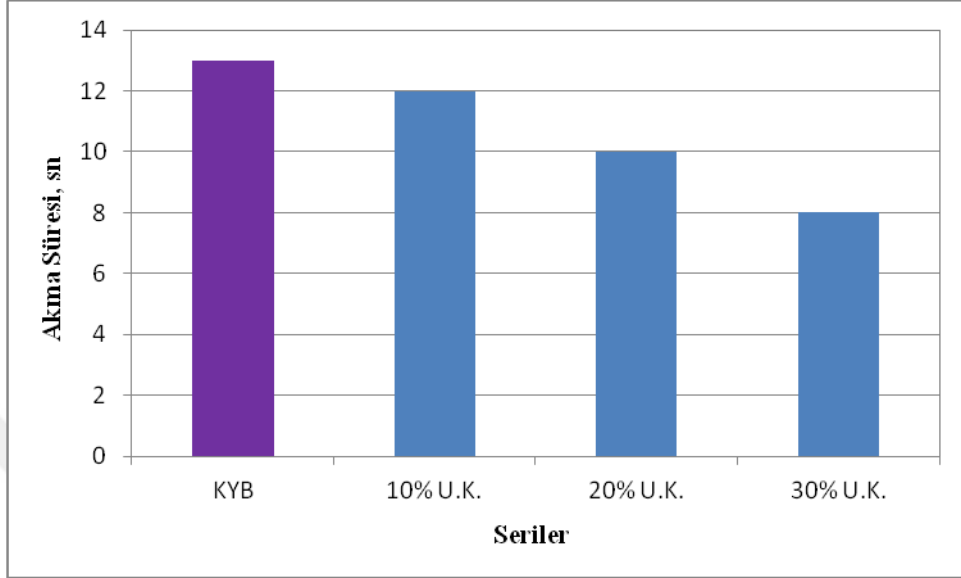
### 5.1.2. L Kutusu deney sonuçlarının değerlendirilmesi ve irdelenmesi



Şekil 5.2. Taze KYB'de L kutusu h1/h2 oranları.

KYB'nin geçebilme özelliğinin ölçülmesi için kullanılan yaygın deneylerden biri olan L kutusu deneyidir. Sonuçların ortalama değerleri Şekil 5.2'de gösterilmiştir. L kutusu deneyinden ölçülen KYB'nin deney aleti içindeki yükseklik seviyelerinin oranlanması ile bulunan geçebilme oranıdır. KYB kontrol numunesinde oran 0,79, %10 uçucu kül katkılı olduğunda oran 0,82'e yükselmiştir, %20 uçucu kül katkılı olduğunda oran 0,86'a yükselmiştir, %30 uçucu kül katkılı olduğunda oran 0,89'e yükselmiştir. Uçucu kül malzemesi daha ince ve özgül ağırlığı sebebiyle ince malzeme artışı nedeniyle KYB'nin geçebilme oranını artırdığı ve boşlukları doldurduğu gözlenmiştir.

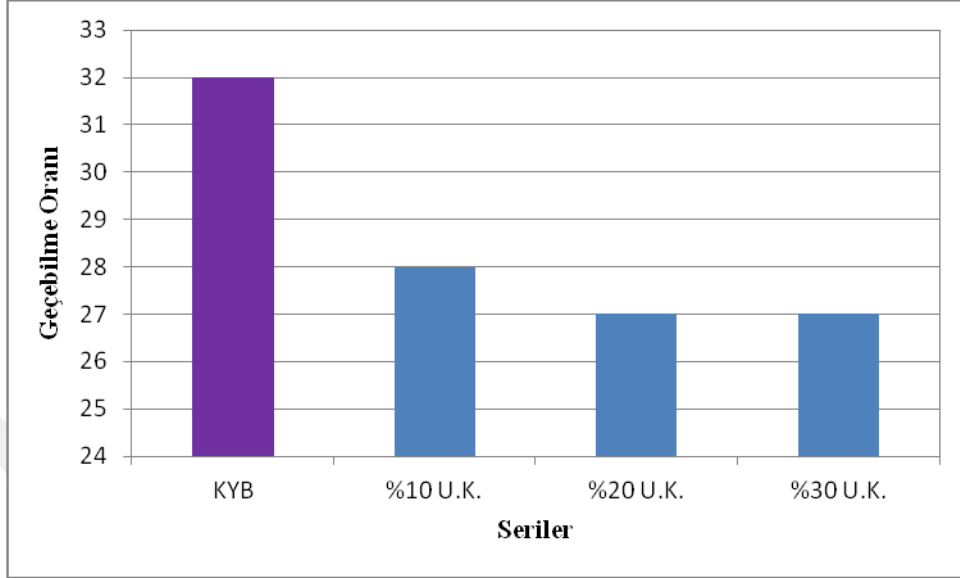
### 5.1.3. V Hunisi deney sonuçlarının değerlendirilmesi ve irdelenmesi



**Şekil 5.3.** Taze KYB' de V hunisi akma süreleri.

KYB' un doldurma ve ayrışmaya karşı direncinin incelendiği deney yöntemi olan V hunisidir. Sonuçların ortalama değerleri Şekil 5.3'de gösterilmiştir. Düzeneğin alttaki kapağı açılmasıyla huninin içerisindeki beton tamamen boşalana kadar devam edilmiş olup, KYB kontrol betonunda akma süresi 13 sn olarak ölçülmüştür. %10 uçucu kül katkılı KYB' de 11 sn, %20 uçucu kül katkılı KYB' de 10 sn, %30 uçucu kül katkılı KYB' de 9 sn olarak ölçüm yapılmıştır. KYB' de uçucu kül katkısı parçacık boyutunun küçülmesi parçacıklar arası etkileşimin artmasına sebep olur. İnce ve küresel tanecikli yapısından dolayı taze betonda işlenebilmeyi arttırdığı söylenebilir.

#### 5.1.4. U Kutusu Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi ve İrdelenmesi



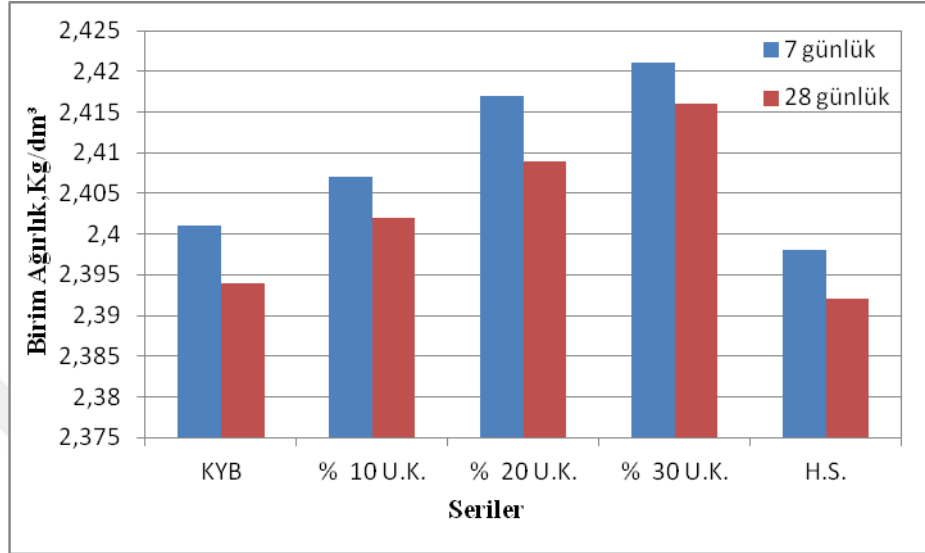
**Şekil 5.4.** Taze KYB' de U hunisi akma süreleri.

KYB' nin geçebilme ve kendiliğinden yerleşme özelliğinin ölçülmesi için kullanılan U kutusu deneyi Şekil 5.4'de verilmiştir. U kutusu deneyinden ölçülen KYB' nin deney aleti içindeki yükseklik seviyelerinin farkları ile bulunan geçebilme oranıdır. KYB kontrol numunesinde oran 32 cm, %10 uçucu kül katkılı olduğunda fark 28 cm düşmüştür, %20 ve %30 uçucu kül katkılı olduğunda fark 27 cm gerilemiştir. Uçucu kül katkılı malzemeler KYB' nin geçebilme ve donatı arası geçebilme özelliğine olumlu tesir etmiştir.

#### 5.2. Sertleşmiş KYB Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi ve İrdelenmesi

Sertleşmiş KYB üzerinde yapılan deneylerin sonuçları, mineral katkı miktarı ve ilgili deneyin formülleri ile ortalama değerler hesaplanmış ve deney türlerine göre değerlendirilmiş ve incelenmiştir.

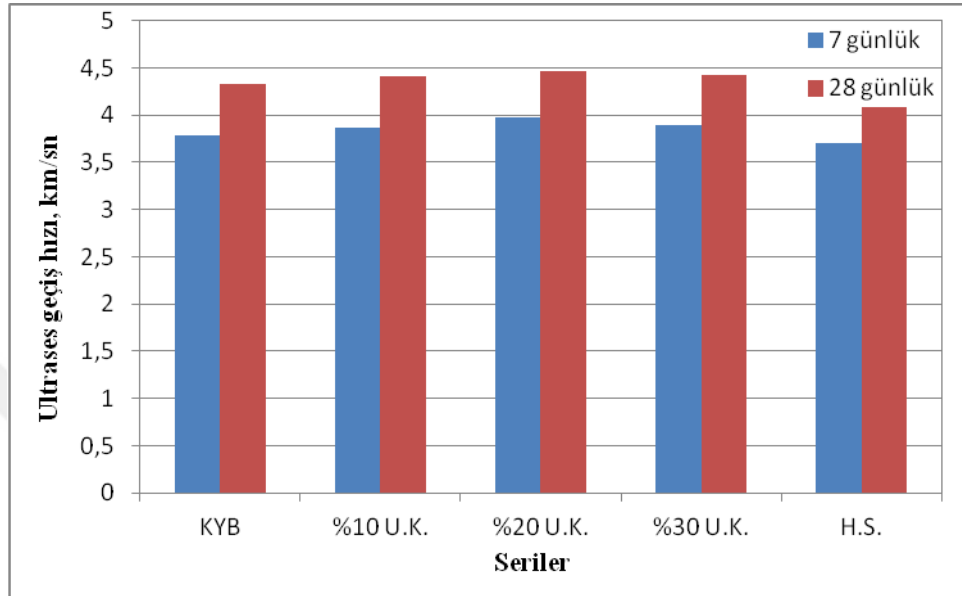
### 5.2.1. Sertleşmiş KYB’de birim ağırlık deney sonuçlarının değerlendirilmesi ve irdelenmesi



Şekil 5.5. Sertleşmiş KYB’ de numune birim ağırlık deney sonuçları.

Standart kür ortamında bekletilen KYB numunelerinde 7 ve 28 günlük yapılan birim ağırlık deney sonuçları Şekil 5.5’ de verilmiştir. Şekil 5.5 incelendiğinde 7 günlük kontrol numunelerinin ortalama birim ağırlıkları  $2,401 \text{ kg/dm}^3$  olurken, % 10 uçucu kül eklenildiğinde birim ağırlık  $2,407 \text{ kg/dm}^3$ , % 20 uçucu kül eklenildiğinde birim ağırlık  $2,417 \text{ kg/dm}^3$ , % 30 uçucu kül eklenildiğinde birim ağırlık  $2,421 \text{ kg/dm}^3$ , hava sürükleyici katkılı numunelerde ise  $2,398 \text{ kg/dm}^3$  olarak hesaplanmıştır. 28 günlük kontrol numunelerinin ortalama birim ağırlıkları  $2,394 \text{ kg/dm}^3$  olurken, % 10 uçucu kül eklenildiğinde birim ağırlık  $2,402 \text{ kg/dm}^3$ , % 20 uçucu kül eklenildiğinde birim ağırlık  $2,409 \text{ kg/dm}^3$ , % 30 uçucu kül eklenildiğinde birim ağırlık  $2,416 \text{ kg/dm}^3$ , hava sürükleyici katkılı numunelerde ise  $2,392 \text{ kg/dm}^3$  olarak hesaplanmıştır. Uçucu kül oranının dozaja ilave olarak artmasıyla birim ağırlıklarda beklendiği gibi artışlar görülmüştür. En yüksek birim ağırlık %30 uçucu kül içeren seride 7 günlük numunelerde görülmüştür.

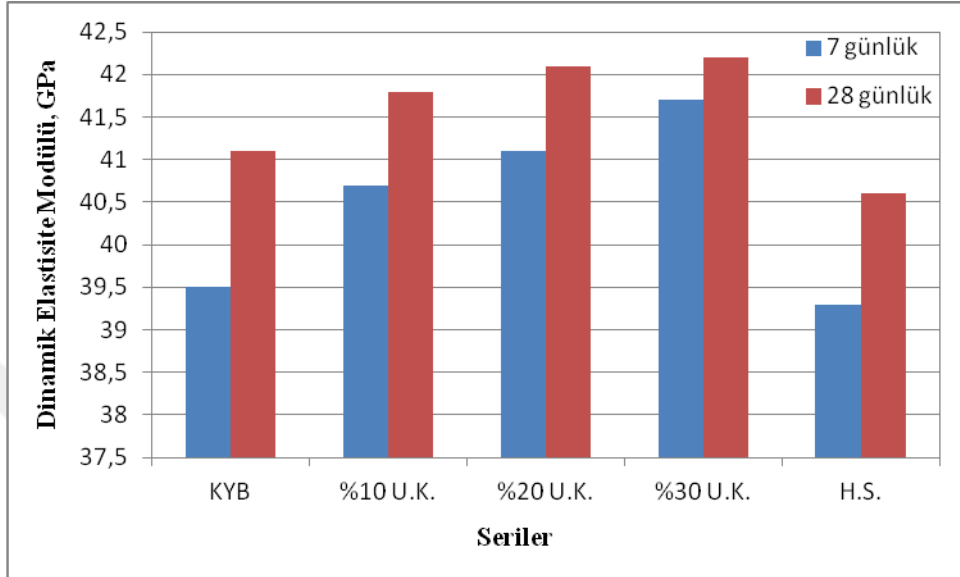
### 5.2.2. Sertleşmiş KYB’de ultrases geçiş hızı deney sonuçlarının değerlendirilmesi ve irdelenmesi



Şekil 5.6. Sertleşmiş KYB’ de ultrases geçiş hızı deney sonuçları.

7 ve 28 günlük KYB numuneleri üzerinde yapılan ultrases geçiş süresi deneyinden elde edilen ultrases geçiş hızı sonuçları Şekil 5.6’ da gösterilmiştir. 7 ve 28 günlük yapılan deneylerde kontrol karışımında ölçülen geçiş hızı(t), uçucu kül katkılı numunelerde arttığı gözlemlenmiştir. Hava sürükleyici katkı kullanıldığında tekrar ultrases geçiş hızında azaldığı gözlemlenmiştir. Bu sonuçlardan görüleceği üzere hava sürükleyici katkıların kullanılması sertleşmiş beton içerisindeki boşlukları artırdığı için ultrases geçiş hızları da düşmüştür. Uçucu kül ince tanecikli olması sebebiyle boşlukları iyi bir şekilde doldurduğu için ultrases geçiş hızını artırdığı söylenebilir. Geçiş hızı değerlerinin betonun yaşı arttıkça yükseldiği ve en yüksek geçiş hızı değerlerinin 28 günlük numunelerde yapılan deneylerde ölçülmüştür.

### 5.2.3. Sertleşmiş KYB’de dinamik elastisite modülü sonuçlarının değerlendirilmesi ve irdelenmesi



**Şekil 5.7.** Sertleşmiş KYB’ de dinamik elastisite modülü deney sonuçları.

7 ve 28 günlük KYB numuneleri üzerinde yapılan birim ağırlık ve ultrases geçiş hızı sonuçlarına bağlı olarak hesaplanan dinamik elastisite modülü sonuçları Şekil 5.7’de gösterilmiştir. 7 ve 28 günlük yapılan deneylerde uçucu kül katkılı numunelerde arttığı ve hava sürükleyici numunelerde düştüğü gözlemlenmiştir. Dinamik elastisite modülünün sonuçları betonun yaşı arttıkça yükseldiği ve ultrases geçiş hızı ile orantılıdır.

#### 5.2.4. Sertleşmiş KYB' de yüzey sertliği deney sonuçlarının değerlendirilmesi ve irdelenmesi

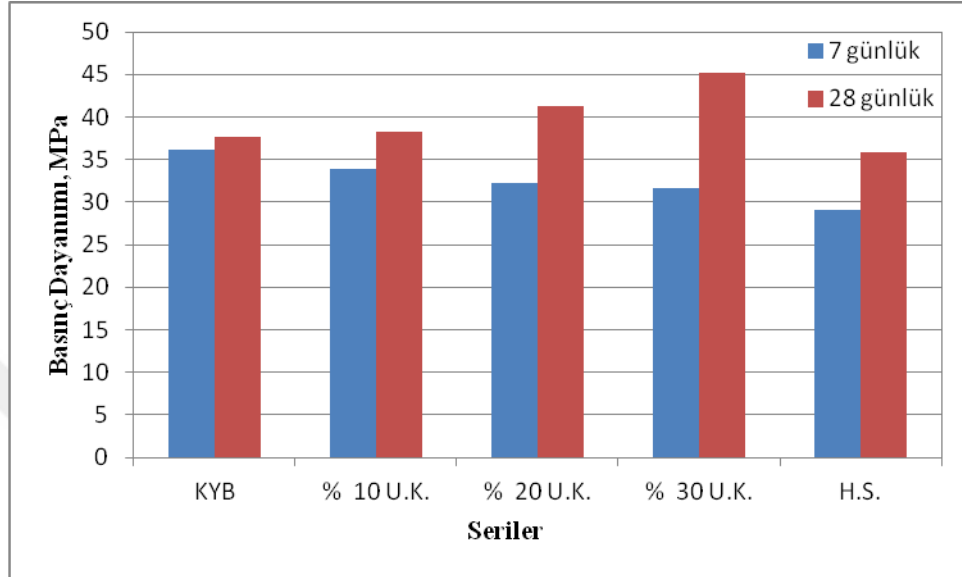


**Şekil 5.8.** Sertleşmiş KYB' de yüzey sertliği deney sonuçları.

7 ve 28 günlük KYB küp numuneleri üzerinde yapılan yüzey sertliği deneylerinin sonuçları Şekil 5.8'de gösterilmiştir. 7 ve 28 günlük yapılan deneylerde katkısız kontrol numunesinde hesaplanan yüzey sertlikleri uçucu kül oranı %10, %20, %30 ve hava sürükleyici katkıli numunelerde düşüş göstermiştir. Beton yaşı arttıkça, 28 günlük numuneler 7 günlük numunelere göre daha sert yüzeyli olduğu gözlemlenmiştir. Karışım içerisindeki uçucu kül oranı arttıkça, uçucu külün ince ve küresel taneleri ve agreganın özgül ağırlığından daha hafif olduğu için uçucu kül katkıli numuneler kontrol numunesine göre yüzey sertliği daha azdır.



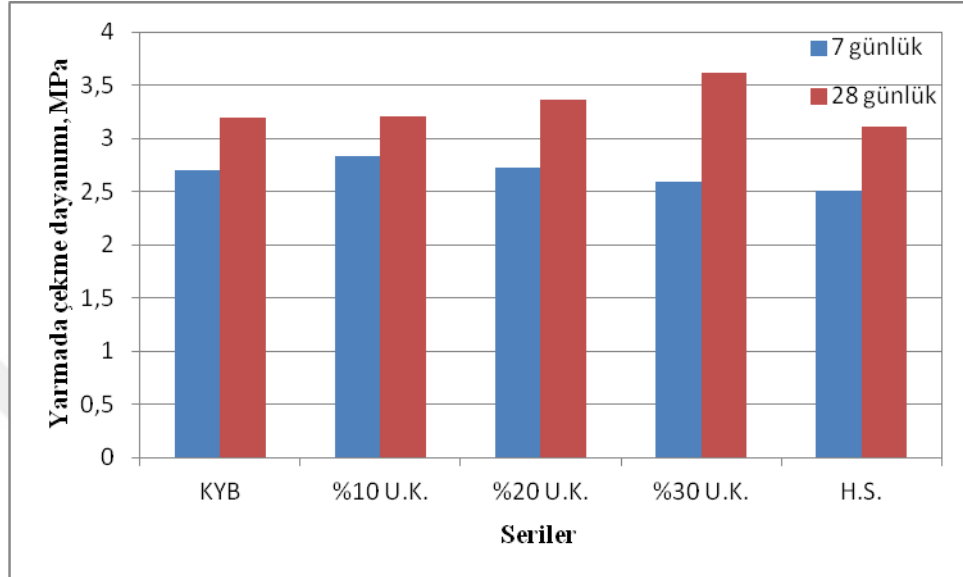
### 5.2.5. Sertleşmiş KYB’de basınç dayanımı deney sonuçlarının değerlendirilmesi ve irdelenmesi



**Şekil 5.9.** Sertleşmiş KYB’ de basınç dayanımı deney sonuçları.

7 ve 28 günlük KYB küp numuneleri üzerinde yapılan basınç dayanımı deneylerinin sonuçları Şekil 5.9’ da gösterilmiştir. 7 günlük numunelerde yapılan deneylerde katkısız kontrol numunesinde hesaplanan basınç dayanımı (P) uçucu kül oranı %10, %20, %30 ve hava sürükleyici katkıli numunelerde düşüş göstermiştir. Beton yaşı artıkça, 28 günlük numuneler de %10, %20, %30 uçucu kül içeren numunelerde basınç dayanımı arttığı gözlenmiştir. En yüksek dayanım 28 günlük numunelerde %30 uçucu kül içeren serilerde hesaplanmıştır. Uçucu kül daha ince ve hafif bir malzeme olduğu için boşlukları daha iyi doldurduğu ve basınç dayanımına beton yaşı artıkça yükselttiğini gözlenmiştir.

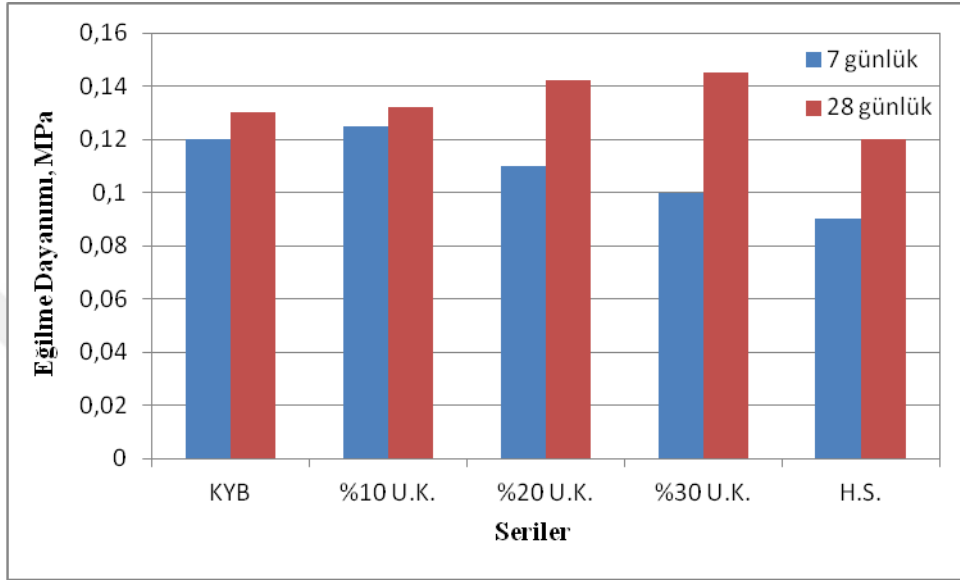
### 5.2.6. Sertleşmiş KYB’de yarmada çekme dayanımı deney sonuçlarının değerlendirilmesi ve irdelenmesi



**Şekil 5.10.** Sertleşmiş KYB’ de yarmada çekme dayanımı deney sonuçları.

7 ve 28 günlük KYB silindir numuneleri üzerinde yapılan yarmada çekme dayanımı deneylerinin sonuçları Şekil 5.10’ da gösterilmiştir. 7 günlük numunelerde yapılan deneylerde katkısız kontrol numunesinde hesaplanan yarmada çekme dayanımları, basınç dayanımında olduğu gibi uçucu kül oranı %10, %20, %30 ve hava sürükleyici katkılı numunelerde düşüş göstermiştir. Beton yaşı arttıkça, 28 günlük numuneler %10, %20 ve %30 uçucu kül içeren serilerde yarmada çekme dayanımı arttığı gözlemlenmiştir. En yüksek dayanım 28 günlük numunelerde %30 uçucu kül içeren serilerde hesaplanmıştır. Buradan uçucu kül katkıların olduğu karışımlarda yarmada çekme dayanımı, küp numunelerdeki gibi basınç dayanımıyla aynı özelliği gösterip uçucu kül katkıların olduğu numuneler beton yaşı arttıkça yarmada çekme dayanımını artırmıştır.

#### 4.2.7. Sertleşmiş KYB' de eğilme dayanımı deney sonuçlarının değerlendirilmesi ve irdelenmesi



Şekil 5.11. Sertleşmiş KYB' de eğilme dayanımı deney sonuçları.

7 ve 28 günlük KYB prizma numuneleri üzerinde yapılan eğilme dayanımı deneylerinin sonuçları Şekil 5.11' de gösterilmiştir. 7 günlük numunelerde yapılan deneylerde katkısız kontrol numunesinde hesaplanan eğilme dayanımı, basınç dayanımında olduğu gibi uçucu kül oranı %10, %20, %30 katkılı numunelerde düştüğü fakat beton yaşı arttıkça, 28 günlük numuneler de %10, %20, %30 uçucu kül içeren serilerde eğilme dayanımı arttığı gözlemlenmiştir. En yüksek dayanım 28 günlük numunelerde %30 uçucu kül içeren serilerde hesaplanmıştır. Ayrıca hava sürüklenmiş KYB eğilme dayanımı basınç dayanımında olduğu gibi eğilme dayanımında da hava sürükleyici numunelerde eğilme dayanımı düşmüştür. Buradan uçucu kül katkılı serilerde eğilme dayanımı beton yaşı arttıkça eğilme dayanımını artırmıştır.

## 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan deneysel çalışmalar neticesinde aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- Taze KYB’de karışımlardaki uçucu kül miktarı artması ile doldurma, geçebilme, ayrılmaya karşı direnç, akma hızı, boşluk doldurma özelliği ve işlenebilirliğinin arttığı gözlemlenmiştir.
- Karışımlardaki uçucu kül miktarı dozaja ilave olarak yapılması sebebiyle birim ağırlıklarda beklenildiği gibi artış olduğu görülmüştür.
- 28 günlük deneylerde uçucu kül katkılı serilerde ultrases geçiş hızının arttığı gözlemlenmiştir.
- Hava sürükleyici katkılı numunelerde ultrases geçiş hızında azalma olmuş, beton içerisindeki oluşan hava kabarcıklarının geçiş hızını engellediği gözlenmiştir.
- Sertleşmiş KYB’de 7 ve 28 günlük yapılan deneylerde hesaplanan dinamik elastisite modülleri uçucu kül katkısı olan numunelerde artmıştır. Ultrases geçiş hızı ile aynı özelliği göstermiştir.
- Sertleşmiş KYB’de uçucu kül katkılı numunelerde 7 günlük basınç dayanımlarda azalma olurken beton yaşı arttıkça uçucu küllü numunelerde basınç dayanımı artmıştır.
- Hava sürükleyici katkılı serilerde basınç dayanımında düşüş gözlemlenmiştir.
- 28 günlük numunelerde uçucu kül içeren serilerde yarmada çekme dayanımı arttığı gözlenmiştir.
- 28 günlük numunelerde uçucu kül içeren serilerde eğilme dayanımı arttığı gözlenmiştir.

Ortaya çıkan bu sonuçlara göre KYB’de dozaja ilave olarak eklenen uçucu kül katkısı ilerleyen zamanda basınç dayanımını, yarmada çekme ve eğilme dayanımlarını yükselttiği gözlemlenmiştir. KYB’nin taze haldeki özelliklerine ve işlenebilirliğine olumlu etkisi olduğu görülmüştür. Birim ağırlıklarının, kullanılan katkıları ilave olarak kullanıldığı için arttığı görülmektedir. Uçucu kül pürüzsüz kürecik ve camsı yapıda olduğu için boşlukları çok iyi doldurma özelliği olduğu gözlemlenmiştir. Hava sürükleyicilerin betonun donma direncini artırmasının yanında başka faydalarının da bulunduğu görülmektedir. Hava sürükleyiciler

betonun işlenebilirliğini yükseltmektedirler. Uçucu kül kullanımı KYB’de işlenebilirlik ve beton yaşı ilerledikçe betonda dayanımına olumlu katkıda bulunduğu için %20 ile %30 arasında uçucu kül katkısı kullanımı yararlı olacağı söylenebilir. Ancak kullanılan uçucu kül ve hava sürükleyici katkılarının çimento ile yer değiştirme şeklinde kullanılarak oluşturulan serilerin sonuçları incelenmesi bu çalışmanın bir sonucu olarak önerilmektedir.



## KAYNAKLAR DİZİNİ

ASTM (1985), “Standard Specifications for Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use as Mineral Admixture in Portland Cement Concrete”, ASTM, Philadelphia, ASTM C 618-85.

Atanur, A. ve Yağız, F. (1970), “Türkiye’de elde edilen uçucu küllerin menşeleri, özellikleri ve bu uçucu küllerin agregat-çimento karışımlarında portland çimentosunun bir kısmını ikame edebilmek imkanlarının araştırılması”, *Teknik Bülten*. Sayı 30, Karayolları Gen. Müd. Araştırma Fen Heyeti Müd. Yay.

Bouzoubaa, N. Laclemi., M. (2001), Self-Compacting Concrete Incorporating High Volumes of Class F Fly ash Preliminary Results”, *Cement and Concrete Research*, 31(3),413-420.

Camposagrado, G.R. (2006), An investigation on the cause and effect of air-void coalescence in air-entrained concrete mixes (R&D Serial no. 2624). U.S. : Portland Cement Association.

Colleparadi M. (2001), "A very Close Precursor of Self-compacting Concrete ", Symposium on Sustainable Development and Concrete Technology, Proceeding of the Giornate AICAP, Ravenna (Italy).

Corradi, M., Khurana, R., Magarotto, R., Torresan, I., (2002). Zero Energy System: An Innovative Approach for Rationalized Precast Concrete Production, BIBM 17th International Congress of the Precast Concrete Industry, Istanbul (Turkey).

Çil, İ. (2015), Uçucu küllerin beton yapımında kullanımı, 56. Türkiye Jeoloji Kurultayı.

EFNARC, (2002), Specification and Guidelines for Self-Compacting Concrete. European Federation for Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems.

Felekoğlu, B., (2003), Kendiliğinden yerleşen betonların fiziksel ve mekanik özellikleri. YL Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 273.

Gürbüz, E. (2009), C Tipi uçucu küllerin etkinliği, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

Helmuth, R. (1987), “Fly Ash in Cement and Concrete”, Portland Cement Association.

<http://www.betonvecimento.com/beton-2/betonda-ucucu-kul-kullanimi>, Ergin, Y. (2015), Betonda uçucu kül kullanımı: Madalyonun diğer yüzü, beton ve çimento, E. T. 29.05.2019.

<http://www.imo.org.tr/resimler/ekutuphane/pdf/11526.pdf>, Artırma, Ş. (2016), Beton karışım hesabında bir yöntem, E.T. 23.05.2019.

[http://www.imo.org.tr/resimler/dosya\\_ekler/787a9fe2ee4fff1\\_ek.pdf?tipi=84&turu=X&sube=0](http://www.imo.org.tr/resimler/dosya_ekler/787a9fe2ee4fff1_ek.pdf?tipi=84&turu=X&sube=0), İMO (2019). Beton, E. T. 23.05.2019.

<https://www.zulfumehmet.com/beton-havasi/>, Özçifçi, Z. M. (2018), Beton havası, E. T. 29.05.2019.

### KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Kandemir, A. (2005), Kendiliğinden yerleşen betonun kalıcılık özelliklerinin incelenmesi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Müh. Böl., Yapı Malzemesi A.B.D., Yüksek Lisans Tezi, İzmir.
- Kevorkian, A. A. (2006), Air-Entraining Admixtures. ASTM STP 169D. *American Society for Testing ve Materials*, s.474-483.
- Kılınç, C. (2012), Kendiliğinden yerleşen beton, hazır beton, Temmuz-Ağustos, s.69-75.
- Kocataşkın, F. (1987), “Yeni gelişen beton malzemeleri”, İleri Beton Teknolojisi Ders Notları, İTÜ İnşaat Fakültesi, İstanbul.
- Koral, S. ve Özkul, H. (1997), “Endüstriyel atıklardan desülfojips ve uçucu külün bağlayıcı malzeme olarak kullanılabilirliğinin araştırılması”, Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Semp. 3, *Bildiri Kitabı*, 197-208.
- Kosmatka, S., Kerkhoff, B., Panarese, W. C. (2002), *Design ve Control of Concrete Mixtures*, 14th ed. Portland Cement Association, Skokie.
- Li, B., Liang, W., He, Z. (2002), “Study on High-Strength Composite Portland Cement with a Larger Amount of Industrial Wastes”, *Cement ve Concrete Research*, C. 32, s. 1341-1344.
- Naik, T. R., Singh, S. S., Ramme B. W. (2002), “Effect of Source of Fly Ash on Abrasion Resistance of Concrete”, *Journal of Materials in Civil Engineering*, s. 417-426, September-October.
- Okamura, H. ve Ozawa, K. (1995), *Mix-design for self-compacting concrete*. Tokyo: Concrete Library of JSCE.
- Okamura, H. ve Ouchi, M., (1999), *Self-Compacting Concrete Development, Present and Future*. In: *Proceedings of First International Rilem Symposium on Self-Compacting*.
- Okamura, H. ve Ouchi, M., (2003), *Self-Compacting Concrete*. *Journal of Advanced Concrete Technologies*.
- Özkul, M. H., Doğan, Ü.A., Işık, İ. E., Sağlam, A. R., Parlak, N. (2006), “Kendiliğinden yerleşen beton: Temel ilkeler ve özellikler”, *THBB Hazır Beton Dergisi*, Sayı 74.
- Özkul, M. H., Sağlam, A. R., Parlak, N., Doğan, A., Mutlu, M. ve Manzak, O., (2002), “The Usage of Self-Compacting Concrete in the Precast Industry”, 17 th Int. Congress of the Precast Concrete Industry, BIBM, İstanbul.
- Sağlam, A. R., Parlak, N., Doğan, U.A., Ozkul, M. H., (2004), Kendiliğinden yerleşen beton ve katkı-cimento uyumu. Beton 2004 Kongresi, 10- 12 Haziran, İstanbul, s. 213-224.

## KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Sahmaran, M., Christianto, H. A., Yaman, I. O., (2006), The effect of chemical admixtures and mineral additives on the properties of self-compacting mortars. *Cement Concrete Compacting*, 28(5), 432-440.

Semioli, W. J., (2002), Self Placing Concrete, *Concrete International*, 23(12), 69-72.

Skarendahl, A., Petersson, Ö., (2000), Self Compacting Concrete, State-of-the-Art Report of RILEM Technical Committee 174-SCC, RILEM Publication.

Sümer, M. (1994). “Uçucu kül atıklarının beton üretiminde değerlendirilmesi”, I. Ulusal İnşaat ve Çevre Sempozyumu, Salihli, Bildiriler Kitabı, ss. 179-185.

Temiz, H. ve Yeğinobalı, A. (1995), “UK ve SD katkılı çimento hamur ve harçlarının bazı özellikleri”, Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması. *Sempozyum Bildiri Kitabı*.

Topçu, İ. B., Karakurt, C. (2007), Effects of different industrial wastes and natural pozzolans on cement properties. TÇMB, 3rd International Symposium Sustainability in Cement and Concrete, Sheraton Hotel, İstanbul, 179-189.

Topçu, İ. B., Ünal, O., Uygunoğlu, T. (2006), “Kendiliğinden yerleşen yarı-hafif betonların özelliklerinin araştırılması”, 2. Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyumu ve Sergisi, 2007, Milli Kütüphane, Ankara.

TS 706 EN 12620+A1 (2009), “Beton agregaları”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 1008 (2003), “Beton-karma suyu-numune alma, deneyler ve beton endüstrisindeki işlemlerden geri kazanılan su dahil, suyun, beton karma suyu olarak uygunluğunun tayini kuralları”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 1097-3 (1999), “Agregaların fiziksel ve mekanik özellikleri için deneyler bölüm 3: Gevşek yığın yoğunluğunun ve boşluk hacminin tayini”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 13263-1+A1 (2010), “Silika tozu - betonda kullanım için - Bölüm 2: Uygunluk değerlendirmesi”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 197-1 (2012), “Genel çimento bileşimi, özellikler ve uygunluk kriterleri”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 206:2013+A1 (2017), “Beton - özellik, performans, imalat ve uygunluk”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 451-2 (2017), “Uçucu kül - Deney Yöntemleri - Bölüm 2: Islak eleme ile incelik tayini”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 934-2+A1 (2013), “Kimyasal katkıları - Beton, harç ve şerbet için - Bölüm 2: Beton kimyasal katkıları - Tarifler, gerekler, uygunluk, işaretleme ve etiketleme”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.



### KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Türkel Ş., Felekoğlu B. (2012), İri agrega türü ve akışkanlaştırıcı katkı dozajının KYB'nin mekanik performansına etkileri, *Hazır Beton Dergisi*, Kasım – Aralık.

Türkel, S., Felekoglu, B., (2005), “Farklı Dayanım Sınıflarındaki Betonlar için Akışkanlaştırıcı Kimyasal Katkıların Su Azaltma Performansları”, Yapılarda Kimyasal Katkı Kongresi (Beton ve Harç Katkıları), 191-200, 24-25 Mart, Ankara.

Türker, P., Bahadır, B., Katnaş, F., Yeğinoğlu, A. (2007), “Türkiye’deki Uçucu Küllerin Sınıflandırılması ve Özellikleri” TÇMB Ankara.

Walraven, J. (2003), Stockholm, Sweden: RILEM Publications; 3–14. Structural aspects of self compacting concrete, 3<sup>rd</sup> Int Symp. On Self-Compacting concrete, Ed by O. Wallevic and I. Nielsson.

Walraven, J., Grünwald, S. C. (2001), Parameter-study on the influence of steel fibers and coarse aggregate content on the fresh properties of selfcompacting concrete., *Cement And Concrete Research* 31 (12): 1793-1798.

Yalçınkaya, Ç., Yazıcı H. (2015), Hava sürükleyici katkının kendiliğinden yerleşen çelik lifli betonun işlenebilirliğine ve basınç dayanımına etkisi, Conference, October.

Yazıcı, Ş., Baradan, B. (1995), Uçucu kül katkılı yüksek dayanımlı beton, Endüstriyel atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Sempozyumu, *Bildiriler Kitabı*, Aralık, 59-72.

## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : KODAK, İbrahim  
Doğum tarihi ve yeri : 10.10.1989 - Tavşanlı/KÜTAHYA  
e-mail : [ikodak11@gmail.com](mailto:ikodak11@gmail.com)

### Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Lise	: Kütahya Lisesi	2007
Ön Lisans	: Dumlupınar Üniversitesi İnşaat Bölümü	2011
Lisans	: Pamukkale Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü	2014

### İş Denevimi

Yıl	Yer	Görev
2014-2015	METROPLAN MÜH.VE MÜŞ.	Kontrol mühendisi
2015-2019	EMAY A.Ş.	Kontrol mühendisi
2019-2019	ALBA YAPI İNŞAAT	Saha mühendisi
2019-	EMAY A.Ş.	Kontrol mühendisi

### Yabancı Dil

İngilizce